

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
Departamento de Economía Aplicada I
(Economía Internacional y Desarrollo)



TESIS DOCTORAL

Recursos naturales energéticos y desarrollo sostenible: el papel de los combustibles fósiles en el flujo de materiales y la economía colombiana

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Alejandro Parra Saad

Directores

Luis M. Jiménez Herrero
Juan Manuel Ramírez Cendrero

Madrid, 2018

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y
EMPRESARIALES**

Departamento de Economía Aplicada I
(Economía Internacional y Desarrollo)



**RECURSOS NATURALES ENERGÉTICOS Y DESARROLLO
SOSTENIBLE: EL PAPEL DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL
FLUJO DE MATERIALES Y LA ECONOMÍA COLOMBIANA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

Alejandro Parra Saad

Bajo la dirección de los doctores
Luis M. Jiménez Herrero
Juan Manuel Ramírez Cendrero

Madrid, 2016

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA APLICADA I**

TESIS DOCTORAL

**RECURSOS NATURALES ENERGÉTICOS Y DESARROLLO
SOSTENIBLE: EL PAPEL DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL
FLUJO DE MATERIALES Y LA ECONOMÍA COLOMBIANA**

**Doctorando
Alejandro Parra Saad**

**DIRECTORES
Luis M. Jiménez Herrero
Juan Manuel Ramírez Cendrero**

Madrid, 2016.

Dedicatoria

A Gladys Liliانا, mi esposa y compañera en este viaje de la vida, gracias por ser la luz de mi vida, por ser refugio y fortaleza en los momentos difíciles y por tu apoyo incondicional en estos años. A mis hijos Juan Pablo y Laura Alejandra, por ser la bendición más grande en mi vida y por transformarla e inspirarme a ser mejor padre y persona cada día.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores y directores de tesis Luis M., Jiménez Herrero y Juan Manuel Ramírez Cendrero por sus consejos y observaciones, así como, por su guía paciente durante el desarrollo de esta investigación quedo sumamente agradecido, y junto a ellos, quiero agradecer a todo mis profesores y miembros del programa de la Maestría en Economía Internacional y Desarrollo, por enseñarnos a dudar de nuestro saber y ser ejemplo en la búsqueda del conocimiento más allá de la aparente racionalidad de nuestra ciencia, gracias también por servir de inspiración en la realización de este proyecto de investigación y su valiosa labor docente.

A mi familia por su apoyo y afecto desde la distancia. También quiero agradecer a todas las persona que han colaborado en la realización de esta investigación: a Diana Carolina Tamayo Bustamante y James Ramírez Ospina, estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, Colombia, por su invaluable apoyo, a Franz Stephan Lutter del Grupo de investigación "Uso Sostenible de los Recursos" del Instituto de Medio Ambiente y Desarrollo Regional, por su colaboración en la información estadística del Flujo de Materiales para Colombia, y a todas las instituciones que han facilitado el acceso a la información estadística, imprescindible para el desarrollo de la investigación, especial a el Departamento Administrativo Nacional de Estadistas (DANE), la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) del Ministerio de Minas y energía, al Departamento Nacional de Estadísticas (DNP), la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), Ecopetrol y la Asociación Colombiana de Petróleo (ACP).

Un especial agradecimiento a la Universidad de la Salle por su apoyo inconmensurable en el desarrollo de este proyecto de investigación y su conspicua contribución en mi proyecto laboral y de vida.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE MAPAS.....	9
LISTA DE ACRÓNIMOS	10
UNIDADES DE MEDIDA	11
RESUMEN	12
SUMMARY.....	16
INTRODUCCIÓN	20
CAPÍTULO PRIMERO	26
1. ASPECTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS.....	26
1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN	26
1.1.1. Identificación del problema	26
1.1.2. Objeto de estudio, justificación y motivaciones de la investigación.....	31
1.1.3. Objetivos, hipótesis y preguntas de investigación	34
1.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	38
1.2.1. Referentes teóricos y conceptuales: la relación entre naturaleza y economía	38
1.2.2. El metabolismo social y la desmaterialización de la economía.....	56
1.3. ESTADO DEL ARTE.....	70
1.3.1. Recursos naturales energéticos, crecimiento económico y desarrollo. Revisión crítica de la teoría y la evidencia empírica	70
1.3.2. Trascendencia biofísica del desarrollo desde el enfoque del metabolismo socioeconómico.....	93
1.3.3. Uso eficiente de los recursos en la economía desde la perspectiva de la ecoinnovación y la ecoeficiencia	96
1.4. METODOLOGÍA, MATERIALES Y MÉTODO	100
1.4.1. Metodología de investigación	100
1.4.2. Definición de variables, y delimitación geográfica y temporal	102
1.4.3. Herramientas de análisis y fundamentos teóricos utilizados.....	106
1.4.3. Estructura de la investigación	125
CAPÍTULO SEGUNDO	127
2. RECURSOS NATURALES ENERGÉTICOS —COMBUSTIBLES FÓSILES— Y DESARROLLO EN COLOMBIA. IMPACTOS Y DINÁMICA REGIONAL.....	127
2.1. CONTEXTO DE LOS DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES EN COLOMBIA.....	127
2.1.1. Antecedentes de los recursos naturales energéticos: Marco regulatorio, evolución y situación actual del petróleo, gas natural y carbón.	127
2.1.2. Distribución regional de los combustibles fósiles y su importancia en el balance energético nacional.....	139
2.2. LOS RECURSOS NATURALES ENERGÉTICOS Y LAS ETAPAS DEL DESARROLLO	148
2.2.1. Relación entre los combustibles fósiles y los principales agregados económicos en las distintas etapas del desarrollo en Colombia	155

2.2.2. Comportamiento de la inversión y las rentas en combustibles fósiles	159
2.3. DINÁMICA NACIONAL Y REGIONAL DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES	170
2.3.1. Relación entre algunos agregados económicos relevantes y los combustibles fósiles a nivel nacional.....	170
2.3.2. Distribución territorial de los combustibles fósiles y asimetría entre regiones. Impactos y comportamiento de las variables económicas y sociales.....	177
2.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA RELACIÓN ENTRE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA ECONOMÍA COLOMBIANA A PARTIR DE LA MODELACIÓN ECONOMETRICA	189
2.4.1. Contrastación de la relación entre desarrollo y calidad ambiental: Revisión de la curva ambiental de Kuznets desde la perspectiva de las emisiones de los combustibles fósiles	190
2.4.2. Relación entre combustibles fósiles, energía y desarrollo	196
2.4.3. Estimación de la tendencia futura de los combustibles fósiles. Comprobación de la curva de Hubbert	203
2.4.4. Crecimiento económico y combustibles fósiles en Colombia. Revisión de la hipótesis de la maldición de los recursos desde una perspectiva global.	209
CAPÍTULO TERCERO	229
3. LA BASE MATERIAL DE LA ECONOMÍA COLOMBIANA: DIMENSIÓN BIOFÍSICA Y LOS COMBUSTIBLES FÓSILES.....	229
3.1. CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DEL FLUJO DE MATERIALES	229
3.1.1. Los flujos físicos en la economía colombiana: tendencias de la extracción de los inputs de materiales.....	234
3.2. RENDIMIENTO METABÓLICO DE LA ECONOMÍA COLOMBIANA	237
3.3. ANÁLISIS LOS INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD E INTENSIDAD DE MATERIALES CON ÉNFASIS EN LOS COMBUSTIBLES FÓSILES	243
3.3.1. Análisis de los indicadores de productividad de materiales a partir del input directo de materiales IDM y el consumo doméstico de materiales CDM	245
3.3.2. Análisis de los indicadores de intensidad de materiales a partir del input directo de materiales IDM y el consumo doméstico de materiales CDM	247
3.3.3. Relación entre los indicadores de IDM, CDM y los indicadores de output en combustibles fósiles	250
3.3.4. Distancia entre el input y el consumo de materiales	251
CAPÍTULO CUARTO	254
4. ANALISIS DE LA DINÁMICA DE LA BALANZA MONETARIA Y BIOFÍSICA (DE RECURSOS NATURALES ENERGÉTICOS) DEL COMERCIO INTERNACIONAL COLOMBIANO	254
4.1. IMPORTANCIA DEL COMERCIO EXTERIOR Y SU IMPACTO EN TÉRMINOS FÍSICOS	254
4.1.1. El proceso de la inserción en la economía mundial: patrones de comercio exterior	257
4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS TÉRMINOS DE INTERCAMBIO. DIVERGENCIA ENTRE LA ECONOMÍA Y LA ECOLOGÍA.....	260
4.3. INTERCAMBIO ECONÓMICO Y ECOLÓGICAMENTE DESIGUAL: RELACIONES COMERCIALES Y EFECTOS ECOLÓGICOS — HACIA UNA TESIS PREBISCH ECOLÓGICA.....	266
CAPÍTULO QUINTO	271
5. MODELACIÓN DE LA CONEXIÓN ENTRE ECOINNOVACIÓN Y ECOEFICIENCIA EN EL SECTOR DE COMBUSTIBLES FÓSILES.	271
5.1. CONTEXTO DE LA DE INNOVACIÓN EN COLOMBIA.....	271

5.2. CONEXIÓN ENTRE ECOINNOVACIÓN Y ECOEFICIENCIA: MODELACIÓN EN EL SECTOR DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	275
5.2.1. Política, sistemas de innovación y la innovación ambiental	276
5.2.2. La innovación y su vínculo con el proceso económico. Fundamentos teóricos de ecoinnovación y ecoeficiencia.....	276
5.2.3. Modelación entre ecoinnovación, ecoeficiencia y combustibles fósiles.....	280
5.3. DESMATERIALIZACIÓN Y DESACOPPLAMIENTO DE LA ECONOMÍA	291
CAPÍTULO SEXTO	294
6. CONCLUSIONES	294
6.1. RESULTADOS Y PRINCIPALES APORTACIONES	294
6.1.1. Sobre la tendencia e impacto de los combustibles fósiles en el desarrollo y las unidades territoriales.....	296
6.1.2. Sobre la calidad ambiental y el impacto físico de los combustibles fósiles en el flujo de materiales y la balanza comercial biofísica	300
6.1.3. Sobre la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de combustibles fósiles, y su incidencia en la política de Desarrollo Sostenible del País	302
6.2. MARCO DE APLICACIÓN.....	303
6.2.1. Aplicación de indicadores de presión (en combustibles fósiles) como instrumentos de medida en la dimensión ambiental del desarrollo sostenible.....	303
6.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	304
6.4. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS.....	305
7. BIBLIOGRAFÍA.....	307
8. ANEXOS.....	332

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. LA NATURALEZA EN EL PENSAMIENTO ECONÓMICO.....	42
CUADRO 2. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE DESARROLLO	53
CUADRO 3. CLASIFICACIÓN DEFINICIONES DE INPUTS Y OUTPUTS EN EL AFM	59
CUADRO 4. DEFINICIONES DE ECOINNOVACIÓN	63
CUADRO 5. TIPOLOGÍA BÁSICA DE ECOEFICIENCIA SEGÚN HUPPES E ISHIKAWA.....	69
CUADRO 6. BASES DE DATOS CONSULTADAS.....	70
CUADRO 7. RESUMEN DE REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE CAUSALIDAD ENTRE CONSUMO DE ENERGÍA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO.	82
CUADRO 8. RESUMEN DE ESTUDIOS EN ECOINNOVACIÓN.....	97
CUADRO 9. PRINCIPALES ESTUDIOS EN ECOEFICIENCIA	99
CUADRO 10. RESUMEN DE BASES DE DATOS DE ESTADÍSTICAS CONSULTADAS	103
CUADRO 11. VARIABLES SELECCIONADAS	104
CUADRO 12. MÉTODOS UTILIZADOS EN EL BLOQUE ECONÓMICO-SOCIAL	108
CUADRO 13. VARIABLES Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN PARA EL BLOQUE ECONÓMICO-SOCIAL	115
CUADRO 14. MÉTODOS UTILIZADOS EN EL BLOQUE ECOLÓGICO-AMBIENTAL	118
CUADRO 15. VARIABLES Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN PARA EL BLOQUE ECOLÓGICO-AMBIENTAL	124
CUADRO 16. PRINCIPALES PAÍSES EXPORTADORES DE CARBÓN.....	138
CUADRO 17. CUENCAS PRODUCTORAS DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL	140
CUADRO 18. ZONAS CARBONÍFERAS DE COLOMBIA	144
CUADRO 19. INDICADORES ECONÓMICOS ASOCIADOS A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES POR PERÍODO	156
CUADRO 20. RENTAS DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES	169
CUADRO 21. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LAS VARIABLES UTILIZADAS EN LA CAK.....	192
CUADRO 22. RELACIÓN FUNCIONAL ENTRE CRECIMIENTO ECONÓMICO Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	192
CUADRO 23. ESPECIFICACIÓN DE LOS MODELOS LINEAL, CUADRÁTICO Y CÚBICO.....	193
CUADRO 24. ESTIMACIONES DE LA CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS PARA COLOMBIA	194
CUADRO 25. RESUMEN DE LAS PRUEBAS DE SELECCIÓN DE RETARDOS Y DIAGNÓSTICO DEL VAR	200
CUADRO 26. PRUEBA DE COINTEGRACIÓN DE JOHANSEN- JUSELIUS.....	201
CUADRO 27. RESULTADOS TEST DE CAUSALIDAD DE GRANGER	201
CUADRO 28. RESULTADOS TEST DE CAUSALIDAD DE GRANGER PARA INGRESO Y ENERGÍA DEL MODELO 4.....	202
CUADRO 29. RESUMEN DE VARIABLES PARA LA SIMULACIÓN.....	204
CUADRO 30. RESULTADOS DE LAS REGRESIONES POR SYSTEM GMM EN DIFERENCIAS PARA EL PANEL INTERNACIONAL	215
CUADRO 31. RESULTADOS DE LAS REGRESIONES POR VARIABLES INSTRUMENTALES EN GMM PARA LA ESTIMACIÓN INDIVIDUAL Y VARIABLE DE DEPENDENCIA DE RECURSOS A NIVEL AGREGADO	221
CUADRO 32. RESULTADOS DE LAS REGRESIONES POR VARIABLES INSTRUMENTALES EN GMM PARA LA ESTIMACIÓN INDIVIDUAL Y VARIABLE DE DEPENDENCIA DE RECURSOS A NIVEL DESAGREGADO	222
CUADRO 33. BLOQUE 1 DE ESTIMACIONES DE PANEL DINÁMICO PARA DEPARTAMENTOS	226
CUADRO 34. BLOQUE 2 DE ESTIMACIONES DE PANEL DINÁMICO PARA DEPARTAMENTOS	226
CUADRO 35. CATEGORÍAS DE MATERIALES VINCULADAS EN EL ANÁLISIS AFM	233
CUADRO 36. BASE DE CÁLCULO PARA INDICADORES DEL AFM	238
CUADRO 37. TÉRMINOS Y DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS RELACIONADOS EN EL ANÁLISIS DE ECOINNOVACIÓN Y ECOEFICIENCIA	280
CUADRO 38. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS PARA EL ANÁLISIS DE ECOINNOVACIÓN Y ECOEFICIENCIA	281
CUADRO 39. MODELO 1 SOBRE ECOEFICIENCIA Y ECOINNOVACIÓN EN EL SECTOR DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	285
CUADRO 40. MODELO 2 SOBRE ECOEFICIENCIA Y ECOINNOVACIÓN EN EL SECTOR DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	288
CUADRO 41. MODELO 3 SOBRE ECOEFICIENCIA Y ECOINNOVACIÓN EN EL SECTOR DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	289

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE LAS EXPORTACIONES DE PETRÓLEO Y CARBÓN, Y CONJUNTO DE LOS DEMÁS SECTORES.	27
FIGURA 2. PIB Y EMISIONES DE CO ₂ DE COLOMBIA.	28
FIGURA 3. PRODUCTIVIDAD E INTENSIDAD DE MATERIALES Y EMISIONES.	30
FIGURA 4. SISTEMA DE HIPÓTESIS.	37
FIGURA 5. METABOLISMO SOCIAL.....	56
FIGURA 6. CONTABILIDAD DEL FLUJO DE MATERIALES.	58
FIGURA 7. DESMATERIALIZACIÓN Y DESACOPAMIENTO DE LA ECONOMÍA.....	61
FIGURA 8. SÍNTESIS DE MARCO ANALÍTICO DE ECOINNOVACIÓN.....	64
FIGURA 9. ENFOQUES DE LA ECOINNOVACIÓN.....	66
FIGURA 10. EVOLUCIÓN DEL CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA POR COMBUSTIBLE, Y UN POSIBLE ESCENARIO FUTURO.	85
FIGURA 11. CONSUMO DE ENERGÍA MUNDIAL.	85
FIGURA 12. PREDICCIONES DEL PICO DEL PETRÓLEO PARA ALGUNOS PAÍSES Y PARA EL GAS NATURAL Y CARBÓN A NIVEL GLOBAL.....	90
FIGURA 13. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA CURVA DE HUBBERT EN DINÁMICA DE SISTEMAS	114
FIGURA 14. RESERVAS Y PRODUCCIÓN HISTÓRICA DE PETRÓLEO.	129
FIGURA 15. CONTRATOS DE ASOCIACIÓN SUSCRITOS	132
FIGURA 16. RESERVAS Y PRODUCCIÓN HISTÓRICA DE GAS NATURAL.....	134
FIGURA 17. RESERVAS Y PRODUCCIÓN HISTÓRICA DE CARBÓN.....	136
FIGURA 18. EXPORTACIONES POR TIPO DE COMBUSTIBLE FÓSIL.....	139
FIGURA 19. PARTICIPACIÓN Y NIVEL DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO POR CUENCA Y DEPARTAMENTO	142
FIGURA 20. PARTICIPACIÓN Y NIVEL DE PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL POR CUENCA Y DEPARTAMENTO	143
FIGURA 21. PARTICIPACIÓN Y NIVEL DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN POR CUENCA Y DEPARTAMENTO	145
FIGURA 22. PARTICIPACIÓN PORCENTUAL POR FUENTE DE ENERGÍA.....	146
FIGURA 23. FLUJO ENERGÉTICO DE COLOMBIA 2012	147
FIGURA 24. EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA POR SUBCATEGORÍA.....	148
FIGURA 25. PIB DE COLOMBIA, VALOR Y TASA DE CRECIMIENTO 1960-2014	151
FIGURA 26. EXPORTACIONES TOTALES Y DE COMBUSTIBLES FÓSILES DE COLOMBIA ENTRE 1960 Y 2013	152
FIGURA 27. EXPORTACIONES DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN VALOR Y VOLUMEN.....	154
FIGURA 28. EVOLUCIÓN DE LA BALANZA COMERCIAL TOTAL Y POR TIPO.....	157
FIGURA 29. EVOLUCIÓN DE LA IED EN COLOMBIA	160
FIGURA 30. IED EN HIDROCARBUROS Y CARBÓN, Y ACUMULADO POR SECTOR.....	163
FIGURA 31. IED DESAGREGADA POR TIPO DE MINERÍA.....	165
FIGURA 32. REGALÍAS POR TIPO DE RECURSO MINERO ENERGÉTICO	168
FIGURA 33. RELACIÓN ENTRE LA TASA DE CRECIMIENTO DE LAS EXPORTACIONES DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA TASA DE CRECIMIENTO DEL PIB	172
FIGURA 34. RELACIÓN ENTRE LAS TASAS DE CRECIMIENTO DE LA IED, LAS REGALÍAS Y LA TRIBUTACIÓN EN COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA TASA DE CRECIMIENTO DEL PIB.....	174
FIGURA 35. EMISIONES TOTALES DE CO ₂ DE COMBUSTIBLES FÓSILES	176
FIGURA 36. PRODUCCIÓN DEL DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL POR DEPARTAMENTO.....	179
FIGURA 37. PIB POR GRANDES RAMAS DE ACTIVIDAD ECONÓMICO Y POR DEPARTAMENTO	180
FIGURA 38. CONVERGENCIA DEPARTAMENTAL	181
FIGURA 39. PROMEDIO DE REGALÍAS POR COMBUSTIBLES FÓSILES Y POR DEPARTAMENTO 1990-2012	183
FIGURA 40. PRINCIPALES BENEFICIARIOS DE REGALÍAS POR COMBUSTIBLES FÓSILES Y TASAS DE PARTICIPACIÓN POR DEPARTAMENTO EN LAS REGALÍAS Y POBLACIÓN TOTALES 1990-2012.....	184
FIGURA 41. COEFICIENTE DE GINI E ÍNDICE DE NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS POR DEPARTAMENTO.....	185
FIGURA 42. PIB, IDD, REGALÍAS E INCIDENCIA DE LA POBREZA POR DEPARTAMENTO	187
FIGURA 43. ÍNDICES DE CRECIMIENTO DEL INGRESO Y LA ENERGÍA PER CÁPITA	197
FIGURA 44. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, Y PARTICIPACIÓN PROCEDENTE DE COMBUSTIBLES FÓSILES.	197

FIGURA 45. ESPECIFICACIÓN DEL MODELO DE LA CURVA DE HUBBERT EN DINÁMICA DE SISTEMAS	206
FIGURA 46. CURVA DE HUBBERT PARA PETRÓLEO	207
FIGURA 47. CURVA DE HUBBERT PARA CARBÓN	207
FIGURA 48. TENDENCIA DE LAS REGALÍAS MODELADAS EN DINÁMICA DE SISTEMAS	209
FIGURA 49. EXPORTACIONES DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y CRECIMIENTO ECONÓMICO	212
FIGURA 50. INDICADORES	213
FIGURA 51. EVOLUCIÓN DE ALGUNAS VARIABLES ASOCIADAS AL PETRÓLEO	217
FIGURA 52 EVOLUCIÓN DE ALGUNAS VARIABLES ASOCIADAS AL GAS NATURAL	218
FIGURA 53. EVOLUCIÓN DE ALGUNAS VARIABLES ASOCIADAS AL CARBÓN.....	218
FIGURA 54. PIB PER CÁPITA Y PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO Y CARBÓN POR DEPARTAMENTO	225
FIGURA 55. INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD Y EXPORTACIONES DE COLOMBIA	232
FIGURA 56. EXTRACCIÓN DOMÉSTICA USADA DE MATERIALES POR CATEGORÍA.....	235
FIGURA 57. FLUJOS DE EXTRACCIÓN DOMÉSTICA USADA Y NO USADA MATERIALES POR CATEGORÍA	236
FIGURA 58. EXTRACCIÓN DOMÉSTICA DE MATERIALES TOTAL	237
FIGURA 59. INDICADORES DE INPUTS, CONSUMO Y OUTPUTS DE MATERIALES TOTALES Y DE COMBUSTIBLES FÓSILES	239
FIGURA 60. OTM, ONP Y ONP DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES	240
FIGURA 61. EVOLUCIÓN DEL IDM DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y PORCENTAJE DE VARIACIÓN	242
FIGURA 62. EXTRACCIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN KT	242
FIGURA 63. PRODUCTIVIDAD DE MATERIALES TOTAL Y DE COMBUSTIBLES FÓSILES BASADA EN EL IDM.....	246
FIGURA 64. PRODUCTIVIDAD DE MATERIALES TOTAL Y DE COMBUSTIBLES FÓSILES BASADA EN EL CDM.....	247
FIGURA 65. INTENSIDAD DE MATERIALES TOTAL Y DE COMBUSTIBLES FÓSILES BASADA EN EL IDM	248
FIGURA 66. INTENSIDAD DE MATERIALES TOTAL Y DE COMBUSTIBLES FÓSILES BASADA EN EL CDM.....	249
FIGURA 67. INDICADORES DE IDM, CDM E INDICADORES DE OUTPUT	250
FIGURA 68. DISTANCIA INPUT-CONSUMO	252
FIGURA 69. EXPORTACIONES E IMPORTACIONES FÍSICAS DE COLOMBIA	256
FIGURA 70. EXPORTACIONES E IMPORTACIONES DE COMBUSTIBLES FÓSILES	257
FIGURA 71. BALANZA COMERCIAL BIOFÍSICA DE COLOMBIA	259
FIGURA 72. BALANZA COMERCIAL BIOFÍSICA POR CADA CATEGORÍA DE MATERIAL PARA COLOMBIA	260
FIGURA 73. VALOR MEDIO POR TONELADA EXPORTADA VS. VALOR MEDIO POR TONELADA IMPORTADA.....	262
FIGURA 74. BALANZA COMERCIAL MONETARIA Y FÍSICA DE COMBUSTIBLES FÓSILES	265
FIGURA 75. TÉRMINOS DE INTERCAMBIO DE COLOMBIA.....	267
FIGURA 76. EXPORTACIONES DE MATERIALES, PETRÓLEO Y CARBÓN, Y VALOR MEDIO POR TONELADA EXPORTADA	268
FIGURA 77. INVERSIÓN EN I+D EN PORCENTAJE DEL PIB, AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	272
FIGURA 78. INVERSIÓN TOTAL EN PROYECTOS APROBADOS SEGÚN PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN (PNCT+I), 2004 - 2013	273
FIGURA 79. NÚMERO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA SEGÚN EL PNCTI	275
FIGURA 80. GANANCIA Y PÉRDIDA EFICIENCIA AMBIENTAL	282
FIGURA 81. ESQUEMA CONCEPTUAL DE DESACOPLOAMIENTO BASADO EN ECOINNOVACIÓN	290
FIGURA 82. ÍNDICES DE PIB PER CÁPITA, IDM Y OTM	291
FIGURA 83. INTENSIDAD DE MATERIALES (COMBUSTIBLES FÓSILES)	292
FIGURA 84. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICO-SOCIAL	294
FIGURA 85. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA DIMENSIÓN ECOLÓGICO-AMBIENTAL	295

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1. DEPARTAMENTOS DE COLOMBIA	105
MAPA 2. DEPARTAMENTOS PRODUCTORES DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y CARBÓN.....	178
MAPA 3. RESERVAS MUNDIALES DE COMBUSTIBLES FÓSILES	210

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACP	Asociación Colombiana de Petróleo
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
BM	Banco Mundial
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadistas
DIAN	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales
DNP	Departamento Nacional de Estadísticas
EAI	Energy Information Administration
FMI	Fondo Monetario Internacional
IEA	International Energy Agency
MMEC	Ministerio de Minas y Energía de Colombia
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo
OCyT	Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología
OLADE	Organización Latino Americana de Energía
OMC	Organización Mundial del Comercio
PENUD	Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PENUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PTW	Penn World Table
UPME	Unidad de Planeación Minero Energético
SERI	Sustainable Europe Research Institute
SGR	Sistema General de Regalías
WEC	World Economic Council
WEF	World Economic Forum
WWF	World Wildlife Fund for Nature

UNIDADES DE MEDIDA

Bep	Barriles Equivalentes de Petróleo
bbl	Barril
BPD	Barriles por Día
BPDC	Barriles por Día Calendario
BTU	Unidades Térmicas Inglesas (British Thermal Unit)
GPC	Giga Pies Cúbicos
FOB	Free on Board
GWh	Gigavatios Hora
Ha	Hectárea
KBPDC	Miles de Barriles por día Calendario
KBPD	Miles de Barriles de Petróleo Diarios
kt	Kilotoneladas
kWh	Kilovatios Hora
m ³	Metros Cúbicos
Mbbl	Millones de Barriles
MBPD	Millones de Barriles por día
MBPE	Millones de Barriles de Petróleo Equivalente
MPC	Millones de Pies Cúbicos
MPDC	Millones de Pies Cúbicos por día Calendario
Mton	Millones de Toneladas
PC	Pie Cúbico
RNE	Recursos Naturales energéticos
Tcal	Teracalorías
TJ	Terajulios
ton	Toneladas
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
US \$	Dólares
US \$ / KPC	Dólares por Miles de Pies Cúbicos
US \$/ bbl	Dólares por Barril
US \$/ t	Dólares por Tonelada
WTI	West Texas Intermediate

RESUMEN

Este proyecto de investigación tiene por objeto de estudio profundizar en la comprensión de los efectos de la dependencia de los recursos naturales energéticos (RNE)¹ en la economía colombiana desde dos dimensiones bien diferenciadas aunque complementarias, como la socioeconómica y la biofísica, necesarias para una comprensión integral tanto de su influencia en los aspectos socioeconómicos como en los ecológico-ambientales, con el propósito de evaluar el peso de estos recursos desde la sostenibilidad (económica, social y ambiental).

Para llevar a cabo este análisis se dividió el estudio en dos bloques que abordan las dos dimensiones, en el primer bloque *dimensión económico-social* se establece el tipo de relación entre los combustibles fósiles que produce y exporta el país y el nivel de desarrollo alcanzado, para ello se utilizó como marco analítico varios referentes teóricos que estudian tal relación desde distintos enfoques, como *la hipótesis de la maldición de los recursos*², *la hipótesis de la relación entre energía y desarrollo*, *la hipótesis del agotamiento de recursos* (curva de Hubbert) y *la curva ambiental de Kuznets*, estableciendo de esta manera los impactos, los mecanismos de transmisión y la incidencia en la inserción internacional, es decir, identificando los efectos internos y externos de los combustibles fósiles en el desarrollo.

En el segundo bloque se aborda el tema de investigación desde la *dimensión biofísica*, identificando de esta forma las conexiones entre la actividad económica en los recursos naturales energéticos y los impactos ecológico-ambientales³, utilizando en este caso como

¹ La categoría de Recursos Naturales Energéticos adoptada en esta investigación corresponde a los combustibles fósiles, es decir el Petróleo, el Gas Natural y el Carbón Mineral.

² Este enfoque se aplica desde la corriente crítica de la literatura en la maldición de los recursos, esto es, desde un planteamiento institucional, que en nuestra opinión representa una visión más amplia que la literatura que sigue la línea argumental de interrelaciones únicamente económicas. Además, el análisis se realiza de forma crítica respecto a los planteamientos teóricos con el fin de contrastar el efecto, las interrelaciones y los canales o mecanismos de transmisión entre los combustibles fósiles y el desarrollo del país, en lugar de pretender validar las teorías.

³ Se realiza esta doble connotación para diferenciar los impactos ecológicos de los ambientales; los primeros se refieren al deterioro o pérdida en los procesos físicos y biológicos de los ecosistemas, mientras que los segundos se refieren al deterioro de la calidad del medio ambiente derivada de los

marco analítico el análisis del flujo de materiales (AFM), la balanza comercial física (BCF) y los términos de intercambio desde la perspectiva ecológica (relación de intercambio ecológicamente desigual), permitiendo así, establecer la dinámica entre los impactos ambientales, la extracción y agotamiento de los recursos, y las presiones sobre el espacio ambiental del país (proceso entrópico); vinculando al análisis de la relación entre combustibles fósiles y el desarrollo aspectos no monetarios como la desmaterialización y desacoplamiento de la economía, así como, su vínculo con la ecoinnovación y las relaciones de intercambio desigual en términos bifásicos.

De esta manera se amplían el alcance y conocimiento del tema de investigación en torno a los procesos de sostenibilidad en el ámbito de los recursos naturales energéticos del país con el propósito de establecer su importancia y conexión con una estrategia de Desarrollo Sostenible que conduzca a una mayor eficiencia en el uso de los recursos y a bajos niveles de emisiones de contaminantes.

Metodológicamente la investigación se estructura en seis capítulos. En el primer capítulo se presenta el marco teórico y conceptual, así como la revisión del estado del arte entre combustibles fósiles y desarrollo. También se presenta la metodología, y las herramientas y métodos para el análisis. Con esta revisión de los antecedentes conceptuales y el estado del arte, se concluye la capacidad de los enfoques teóricos para ser traducidos en políticas concretas de sostenibilidad y en estrategias de desarrollo sostenible. El capítulo dos aborda la dimensión económico-social, realizando el análisis a nivel nacional y territorial de la relación entre combustibles fósiles y desarrollo, para lo cual se seleccionaron las variables identificadas como las de mayor relevancia tanto en la teoría como en la revisión de la literatura empírica referentes a los factores económicos, sociales y ambientales. Los capítulos tres y cuatro abordan la dimensión ecológico-ambiental, en este punto se realizó el análisis del metabolismo socioeconómico del país, así como del grado de presión ambiental derivado de los patrones de comercio internacional, con énfasis en el caso de los combustibles fósiles. En el capítulo cinco se modeliza la conexión entre ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de combustibles fósiles identificando los factores y mecanismos que incentivan procesos de ecoinnovación y ecoeficiencia que permitan lograr un desacoplamiento de recursos e impactos de los

residuos y la contaminación. Esta diferencia genera objetos de estudio distintos por lo que, de los primeros se ocupa la economía ecológica que conecta el sistema económico con el sistema ecológico (procesos físicos y biológicos) que lo sustenta, y de los segundos se ocupa la economía ambiental que estudia los efectos antrópicos sobre el medio ambiente (aire, agua, tierra), mediante la valoración y asignación en términos de precios, costos y beneficios (Glifo, 2006).

combustibles fósiles con el fin de identificar elementos centrales que sirvan para el diseño de políticas públicas orientadas a la gestión eficiente de los recursos y a promover el desarrollo sostenible. El capítulo seis presenta las conclusiones y marco de aplicación de la investigación. Finalmente se presenta la bibliografía consultada y los anexos de la investigación.

Entre los principales resultados de la investigación se encuentra la existencia de una relación inversa entre el crecimiento económico y las exportaciones de combustibles fósiles, aunque dicha relación se presenta en un contexto institucional débil, por lo que no son las exportaciones *per se* las que ocasionan tal relación sino el entorno institucional en el que se desarrollan, dicho de otro modo, la flexibilidad del marco regulatorio que favorece la concentración de la explotación en inversores privados foráneos unido la ineficiente distribución de las rentas de los combustibles fósiles y a la corrupción, actúan como mecanismo adverso entre el crecimiento económico y las exportaciones de recursos energéticos⁴, por lo que la calidad institucional y la buena gobernanza en los combustibles fósiles son un imperativo para revertir el efecto negativo de las exportaciones de los recursos energéticos en la economía colombiana. Por otra parte, a nivel regional se encuentra una relación inversa entre las condiciones socioeconómicas (desarrollo regional) y la presencia intensiva de combustibles fósiles, generando grandes desigualdades entre regiones productoras y no productoras; además de hallar una ineficiente capacidad de las regiones que perciben la mayor proporción de las rentas minero energéticas para financiar su desarrollo, se determina a través de un análisis de simulación de tendencias futuras que tanto la producción como las regalías tienden a disminuir en el tiempo (*pico de los recursos*), por lo que las dificultades para financiar el desarrollo regional en el mediano y largo plazo en los territorios del país son cada vez más agudas.

Se encontró además que la elevada proporción de la extracción doméstica de combustibles fósiles en relación al conjunto del flujo de materiales es el factor más relevante en los indicadores de estado: input, consumo y output de materiales⁵, generando un impacto directo

⁴ Dado que mayoritariamente la concentración de la inversión en el sector es de naturaleza extranjera no se ha presentado un desplazamiento de la inversión nacional hacia las actividades de hidrocarburos y carbonífera de la inversión, así como como un desplazamiento de las exportaciones de bienes transables, por lo que el canal de desplazamiento vía enfermedad holandesa tiene un efecto marginal.

⁵ Los indicadores de input se definen como los materiales físicos (biomasa, combustibles fósiles, minerales metálicos, y minerales industriales y de construcción) que son extraídos, explotados, producidos o importados y que entran en el sistema económico nacional; los indicadores de consumo corresponden a los materiales realmente utilizados en los procesos económicos de producción y consumo; y los indicadores de output representan las salidas de materiales y residuos hacia otras economías o al medio ambiente. Todos expresados en unidades físicas (toneladas o kilotoneladas).

en los costos ambientales derivados de la explotación y el agotamiento de estos recursos, así como de la generación de emisiones conexas al proceso extractivo. De igual forma, se halló que el patrón de comercio exterior especializado en los recursos primario energéticos expone al país a presiones ecológicas no compensadas en términos socioeconómicos, favoreciendo la alteración del equilibrio natural, al igual que demarca una evidente relación de intercambio ecológicamente desigual, puesto que no sólo en el valor de las exportaciones no se incluye un mecanismo corrector (vía impuestos o tasas)⁶ para financiar el gasto en reparación o mitigación por el deterioro ambiental sino que además, históricamente el valor promedio por tonelada exportada de combustibles fósiles en términos reales ha disminuido, lo que equivale a realizar en cada período más exportaciones de recursos energéticos para recibir el mismo nivel de ingresos. Todo esto constituye un lastre para alcanzar transformaciones en las estructuras de producción y de comercio tanto internos como para el comercio exterior que permitan alcanzar un desarrollo sostenible en Colombia, por lo que la adecuada gobernanza sobre los recursos energéticos con un enfoque de sostenibilidad que implique procesos de ecoinnovación, ecoeficiencia y desacoplamiento, constituye un pilar fundamental en el logro de este objetivo.

Finalmente los resultados de los distintos apartados de la investigación permiten concluir de forma general que la trayectoria del modelo de desarrollo convencional basado en el extractivismo de recursos naturales no es sostenible, no obstante, la implementación de iniciativas de ecoeficiencia y ecoinnovación en los recursos energéticos pueden contribuir de forma significativa en reorientar la trayectoria del desarrollo hacia modelos más sostenibles relacionados con el uso y la gestión de los combustibles fósiles, en este sentido la investigación aporta elementos centrales desde la gestión eficiente de estos recursos como soporte para el diseño de estrategias de desarrollo sostenible.

⁶ U otros instrumentos de gestión ambiental.

SUMMARY

This research project aims to study further the understanding of the effects of dependence on natural energy resources (RNE)⁷ in the Colombian economy from two distinct but complementary dimensions, such as socioeconomic and biophysics, necessary for an integral compression of their influence on socio-economic aspects as in ecological and environmental, in order to evaluate the weight of these resources from the sustainability (economic, social and environmental).

To perform this analysis, the study was divided into two blocks which address the two dimensions, in the first block *economic and social dimension* is established the type of relationship between fossil fuels which produces and exports the country and the level of development reached, for these was used as an analytical framework several theoretical frameworks that studying this relationship from different approaches, such as *the hypothesis of the resource curse, the hypothesis of the relationship between energy and development, the hypothesis of resource depletion* (Hubbert curve) *and Kuznets environmental curve*, thus establishing the impacts, transmission mechanisms and the impact on international integration, so identifying the internal and external effects of fossil fuel in the development.

In the second block the research topic is approached from *biophysics dimension*, thereby identifying the connections between economic activity in natural energy resources and eco-environmental impacts⁸, using in this case as an analytical framework analysis of material flow (AFM), physical trade balance (BCF) and the terms of trade from an ecological perspective

⁷The category of Energy Natural Resources adopted in this research corresponds to fossil fuels, namely Petroleum Natural Gas and Coal.

⁸ This double connotation is made to differentiate the ecological impacts of environmental; the former refers to the deterioration or loss in the physical and biological ecosystem processes, while the latter refers to the deterioration of the quality of the environment from waste and pollution. This difference generates distinct objects of study so that the first ecological economy that connects the economic system with the ecological system (physical and biological processes) that supports it deals, and the second environmental economics that studies addresses the anthropic effects on the environment (air, water, earth) through the valuation and allocation in terms of prices, costs and benefits (Glifo, 2006).

(ratio of ecologically unequal exchange), thus allowing to establish the dynamics between environmental impacts, extraction and depletion of resources, and pressures on the environmental space of the country (entropic process); linking the analysis of the relationship between fossil fuels and non-monetary development as dematerialization and decoupling economic aspects, and its link to eco-innovation and relations of unequal exchange in terms biphasic.

Thus the scope and knowledge of the research topic are expand around sustainability processes in the field of natural energy resources of the country in order to establish its importance and connection with a strategy of sustainable development that leads expand to more efficient use of resources and low pollutant emission levels.

Methodologically the research is divided into six chapters. In the first chapter is presented the theoretical and conceptual framework and review the state of the art between fossil fuels and development. The methodology, and the tools and methods for the analysis are also presented. With this review of the conceptual background and state of the art, the ability of theoretical approaches to be translated into concrete policies of sustainability and sustainable development strategies is concluded. Chapter two discusses the economic and social dimension, making analysis at the national and territorial level of the relationship between fossil fuels and development, for which the variables identified as the most important both in theory and in the review of selected empirical literature concerning economic, social and environmental factors. Third and fourth chapters address the ecological and environmental dimension, at this point the analysis of socioeconomic metabolism of the country was conducted, and the degree of environmental pressure resulting from the patterns of international trade, with emphasis on the case of fossil fuels. In chapter five the connection between eco-innovation and eco-efficiency in the sector of fossil fuels identifying the factors and mechanisms that encourage processes of eco-innovation and eco-efficiency to achieve an uncoupling of resources and impacts of fossil fuels in order to identify core elements are modeled serve for the design of public policies aimed at efficient management of resources and promoting sustainable development. Chapter six presents the conclusions and implementation framework of the investigation. Finally the bibliography and annexes of the research is presented.

Among the main findings of the investigation is the existence of an inverse relationship between economic growth and exports of fossil fuels, although this relationship is presented in

a weak institutional environment, so they are not exports per se that cause such relationship but the institutional environment in which they operate, in other words, the flexibility of the regulatory framework that promotes concentration of exploitation in foreign private investors joined the inefficient distribution of income from fossil fuels and corruption, act as a mechanism adverse between economic growth and exports of energy resources⁹, so that institutional quality and good governance in fossil fuels are imperative to reverse the negative effect of exports of energy resources in the Colombian economy. Moreover, at the regional level it is an inverse relationship between socioeconomic conditions (regional development) and intensive presence of fossil fuels, generating huge inequalities between producing and non-producing regions; in addition to finding an inefficient capacity of regions to receive the largest share of energy mining revenues to finance its development, it is determined through a simulation analysis of future trends both production and royalties tend to decrease over time (*peak resources*), so the difficulties in financing regional development in the medium and long term in the territories of the country are becoming more acute once.

It was further found that the high proportion of domestic extraction of fossil fuels in relation to the entire material flow is the most important factor in the status indicators: input, consumption and output of materials¹⁰, generating a direct impact on derivatives environmental costs exploitation and depletion of these resources and the generation of emissions related to the extraction process. Similarly, it was found that the pattern of specialized foreign trade in energy primary resources exposes the country to ecological pressures uncompensated in socioeconomic terms, favoring the alteration of the natural balance, as demarcating a clear link exchange ecologically unequal, since not only in the value of exports does not include a correction mechanism (via taxes or fees)¹¹ to finance spending on repairs or mitigation for environmental degradation but also historically the average value per ton exported fossil fuels in real terms it has decreased, which equates to perform in each period exports of energy resources to receive the same level of income. All this constitutes a burden to achieve changes in production structures and trade both domestic and foreign trade

⁹ Since mainly the concentration of investment in the sector is foreign nature has not submitted a displacement of domestic investment into the activities of oil and coal investment and as a shift of exports of tradable goods, so that the displacement channel via Dutch disease has a marginal effect.

¹⁰ Input indicators are defined as the physical materials (biomass, fossil fuels, metal ores and industrial and construction minerals) that are extracted, exploited, produced or imported and entering the national economic system; consumption indicators correspond to the materials actually used in economic processes of production and consumption; and output indicators represent the output materials and waste to other economies or to the environment. All expressed in physical units (tons or kilotonnes).

¹¹ Or other environmental management instruments.

that achieve sustainable development in Colombia, so that proper governance over energy resources with a focus on sustainability that involves processes eco-innovation, eco-efficiency and decoupling, is a fundamental pillar in achieving this goal.

Finally the results of the different sections of the investigation can be concluded generally that the trajectory of conventional development model based on extractivism of natural resources is not sustainable, however, implementation of initiatives for eco-efficiency and eco-innovation in energy resources can contribute significantly to redirect the path of development towards more sustainable models related to the use and management of fossil fuels, in this sense, the research provides key elements for the efficient management of this resource as a support for the design of development strategies sustainable.

INTRODUCCIÓN

El estudio del medio ambiente en general en la ciencia económica cuenta con una larga tradición y diversas corrientes disciplinares como la Economía Ambiental y la Economía Ecológica¹², que van desde el estudio de la contribución de estos recursos en el proceso económico hasta su relación con el desarrollo. Sin embargo, la forma con la que se ha llevado a cabo tal estudio ha sido predominantemente dentro de la lógica de un flujo circular cerrado basado en la racionalidad del valor de intercambio que ha reducido la comprensión de la naturaleza a una simple función productivista. No obstante, esta visión reduccionista del papel de la naturaleza ha sido cuestionada en décadas recientes por una gran cantidad de autores que se han constituido en un nuevo cuerpo teórico entorno a la relación entre la naturaleza y los ecosistemas con la economía; el eje central en el que se sustentan las críticas desde este referente es la forma en que es vinculada la naturaleza en la economía, puesto que al entenderla como un instrumento generador de valor dentro del proceso económico, se relega el rol de la naturaleza a un simple elemento de utilidad en los procesos productivos Pearce y Turner (1995), desconociendo su verdadera función como soporte biofísico de las relaciones sociales y económicas. Autores como Costanza y Daly (1992), Schütze, Beck, y Dahl (1997), Jiménez (2008) y Naredo (2006b) entre otros argumentan como en el análisis convencional se articulan los recursos naturales como una representación del “capital” natural soslayando el entendimiento de la relación entre la naturaleza y la economía desde una visión ecocéntrica.

¹² Algunos de los autores representativos de estas corrientes son Barry y Marta (2003), Coase (1960), Hotelling (1931), Kapp (1950), Pearce y Turner (1995), Pigou (1920) y Solow (1974) desde la perspectiva de La Economía Ambiental y La Economía De Los Recursos Naturales. Otros autores como Akarca y Long (1980), Kraft y Kraft (1978), Masih y Masih (1998), Mohr, Wang, Ellem, Ward, y Giurco (2015) se enfocan en la relación entre energía y desarrollo; autores como Auty (2000), Bulte y Damania (2008), Collier y Goderis (2009), Gylfason (2004), Mehlum, Moene, y Torvik (2002), Ross (1999), Sachs y Warner (1995, 2001), Stijns (2005), Tornell y Lane (1999) y van der Ploeg (2010) exploran la relación inversa entre crecimiento económico y dependencia de recursos naturales, y otras visiones más recientes estudian el impacto biofísico entre el uso de recursos naturales y el proceso económico desde la visión de la sostenibilidad y los sistemas sociológicos, dentro de la más reciente disciplina de la Economía Ecológica, como Ayres (1989), Carpintero (2003), Costanza (1999), Fischer-Kowalski y Huttler (1998), Jiménez (2002, 2008, 2012), Naredo (2004) y Roca (2008), entre otros.

La importancia de esta concepción alternativa de la relación entre economía y naturaleza radica en la identificación de los límites físicos del planeta para soportar la actividad humana¹³, o dicho de otro modo, ajustar el sistema socioeconómico a las leyes físicas del sistema ecológico, de forma que los sistemas biofísicos necesarios para el soporte y reproducción de la vida se conserven inalterados, como la capacidad de carga, adaptación y regeneración de la biosfera. Esta concepción es necesaria para comprender la dimensión real de la naturaleza en las interrelaciones económicas y sociales, que van más allá de un simple proveedor de recursos o factor productivo, o sumidero de residuos.

Por otra parte, el desconocimiento de esta dimensión de la naturaleza no sólo se ha reflejado en un vacío conceptual sino que además ha tenido implicaciones para el medio ambiente, prueba de ello es el aumento de la actividad económica que se ha traducido en el mantenimiento de tendencias crecientes en el consumo de bienes materiales, la explotación de los recursos naturales y el creciente uso de la energía (PNUMA, 2010), así como, de una tendencia creciente de los residuos y contaminantes (AEMA, 2004), y la degradación de los ecosistemas (WWF, 2010). Asimismo, en las últimas cuatro décadas la producción mundial ha llegado casi a cuadruplicarse a la vez que la población mundial se ha incrementado un 85%, alcanzando 6.840 millones de habitantes en 2010 (OSE, 2012). Estas tendencias son corroboradas en un destacado estudio realizado por el *Institute of Social Ecology*, de la Universidad *Alpen-Adria-Universität Klagenfurt*, que detalla como el incremento en el uso de recursos de la biosfera se ha multiplicado por un factor de 8 en las últimas décadas, alcanzando en 2005 la cifra de 59 giga toneladas por año (gt/a) de materiales extraídos y utilizados en todo el mundo (Krausmann et al, 2009). Al contrastar estas tendencias, en especial a partir de 1960, con el incremento del producto interno bruto mundial y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), se puede apreciar que el incremento en el producto mundial ha llevado aparejado el uso intensivo de recursos naturales, así como, un creciente nivel de contaminación, que en la actualidad amenaza con sobrepasar los límites físicos del planeta; a esta conclusión llega el *Global Footprint Network* al analizar los índices de la huella ecológica y de la biocapacidad, destacando una tendencia clara de acercamiento al límite de biocapacidad de carga del planeta, mientras que el índice de planeta vivo presenta una disminución en términos generales de la biodiversidad en el mundo (WWF, 2012).

¹³ Hecho que ha sido ampliamente difundido desde principios de los años setenta con el Informe del Club de Roma (Meadows, Meadows, Randers, & Behrens, 1972).

Estas tendencias soportan la necesidad de profundizar en el estudio de la relación entre la naturaleza y la economía desde una perspectiva ecológica, en especial en lo referente a los recursos naturales energéticos (no renovables), que constituyen un núcleo de estudio trascendental, tanto por su importancia en términos de energía como por las emisiones de contaminantes que se derivan de ellos; la Agencia internacional de la Energía en su informe *World Outlook Energy 2015*, calcula que entre 1990 y 2013, la demanda mundial de energía primaria aumentó en un 55% ubicándose en 13.560 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) en 2013 y proyecta un crecimiento de más del 45% de las emisiones para 2040 (IEA, 2015c, p. 55).

Además, para varios países los recursos energéticos como el petróleo, gas natural y carbón, representan su principal producto de exportación por lo que la dependencia de estos recursos naturales es un asunto de especial atención como es el caso de Argelia y Venezuela en los cuales las exportaciones de hidrocarburos, según las estadísticas del Banco Mundial, representan más del 92% y 86% de sus exportaciones totales respectivamente, otros casos similares son los Arabia Saudita, Bolivia, Colombia, Nigeria, Qatar y Rusia entre otros. En los que las exportaciones de combustibles fósiles tienen un peso significativo, con la particularidad para varios de ellos de ser economías pequeñas, primario exportadoras y dependientes en el escenario internacional. Por lo que a escala mundial, además de la importancia ambiental de esta especialización, también se resalta el potencial de estos recursos para soportar la estructura económica. En este punto también son varias las corrientes de pensamiento que relacionan específicamente los combustibles fósiles con el desarrollo, tema que ha sido debatido ampliamente en la literatura, como la idea de que la existencia de una significativa riqueza en recursos naturales está relacionada con un mayor nivel de pobreza, es decir, que los países que concentran su estructura productiva (extracción y exportación) en recursos en los que son ricos encuentran mayores dificultades para desarrollarse o equipararse con aquellos que son pobres en recursos naturales. Otros temas destacados en la literatura son la relación entre la energía (de la cual los combustibles fósiles representan la mayor participación) y el desarrollo, y el agotamiento de los recursos¹⁴.

Es evidente que los recursos naturales (especialmente los energéticos), tienen un papel relevante tanto en términos económicos como ecológicos por lo que su estudio de forma

¹⁴ En el primer caso se destaca la contribución de Kraft y Kraft (1978) sobre la relación entre energía y desarrollo y en el segundo caso se destaca la contribución de Hubbert (1956) con su estudio sobre el agotamiento de los recursos no renovables *pico del petróleo*.

integral se hace necesaria para ampliar la comprensión de su importancia en el proceso de desarrollo. Además, el patrón de especialización internacional basado en el extractivismo de recursos es responsable de gran parte de la presión ambiental ejercida por el aumento de la demanda de recursos, principalmente por parte de países industrializados Pérez (2003, 2006a). Desde de este escenario esta investigación combina de forma complementaria distintos enfoques para abordar la dependencia de los recursos naturales energéticos¹⁵ (específicamente los combustibles fósiles) y su relación con el desarrollo, el medio ambiente y la base material de la economía colombiana, con el propósito de establecer la relación tanto económica como biofísica de estos recursos con el desarrollo del país, además de identificar las conexiones que permitan avanzar hacia un modelo de desarrollo sostenible, ampliando de esta manera el alcance de la investigación.

Específicamente en el caso colombiano pese al largo recorrido histórico y de las distintas estrategias de desarrollo adoptadas, el país continúa presentando un patrón primario-exportador en el que los hidrocarburos y el carbón ocupan un papel protagónico; aunque este hecho puede ser positivo en términos de la entrada de divisas al país, también supone un problema puesto que manifiesta la dependencia externa sobre este tipo de recursos, haciendo más vulnerable la economía a los choques externos por la volatilidad de precios, tasa de cambio real y demanda internacional entre otros aspectos (Llinás, 2002; Perilla, 2010; Rodríguez, 2011), a la vez que el extractivismo en estos recursos energéticos ha agudizado los impactos ambientales y ecológicos derivados de la contaminación y consumo de recursos naturales como la degradación ambiental y efectos de estrangulamiento por el agotamiento de dichos recursos que impiden marcar tendencias hacia la sostenibilidad a través de la desmaterialización y el desacoplamiento como lo argumentan Vallejo, Pérez, & Martínez-Alier (2011).

Par llevar a cabo el estudio de la relación entre los combustibles fósiles y la economía colombiana tanto en términos económicos como en términos biofísicos, la investigación se estructura en seis capítulos; el primero corresponde a los aspectos teóricos, conceptuales y metodológicos que orientan el desarrollo del proyecto de investigación y el capítulo seis presenta las conclusiones y marco de aplicación de la tesis. Mientras que los capítulos dos a cinco conforman el cuerpo de la tesis. El capítulo dos corresponde al primer bloque en el que

¹⁵ Para efectos de esta investigación se utilizará como recursos naturales energéticos (RNE), específicamente los combustibles fósiles, por consiguiente la sigla RNE se limita exclusivamente a estos recursos. Se define de esta manera por la relevancia de estos recursos para la economía del país, así como de la disponibilidad de series extensas, necesarias para el desarrollo de la investigación.

se estudia la relación de los combustibles fósiles con el desarrollo del país desde la dimensión económico-social, por su parte, los capítulos tres a cinco componen el segundo bloque en el que se aborda el tema desde la dimensión ecológico-ambiental.

Finalmente este esquema propuesto tiene la intención de proponer algunas pautas para su lectura, lo que lleva a la pregunta de ¿cómo leer la tesis? El punto de referencia inicial es el estudio del desarrollo desde la perspectiva de los recursos naturales; desde esta perspectiva se analiza la importancia de la dependiente de los recursos primario energéticos para una economía pequeña y en desarrollo como es el caso de Colombia. En segundo lugar la investigación está realizada en clave de sostenibilidad (económica, social, y ambiental), de aquí la división en dos bloques.

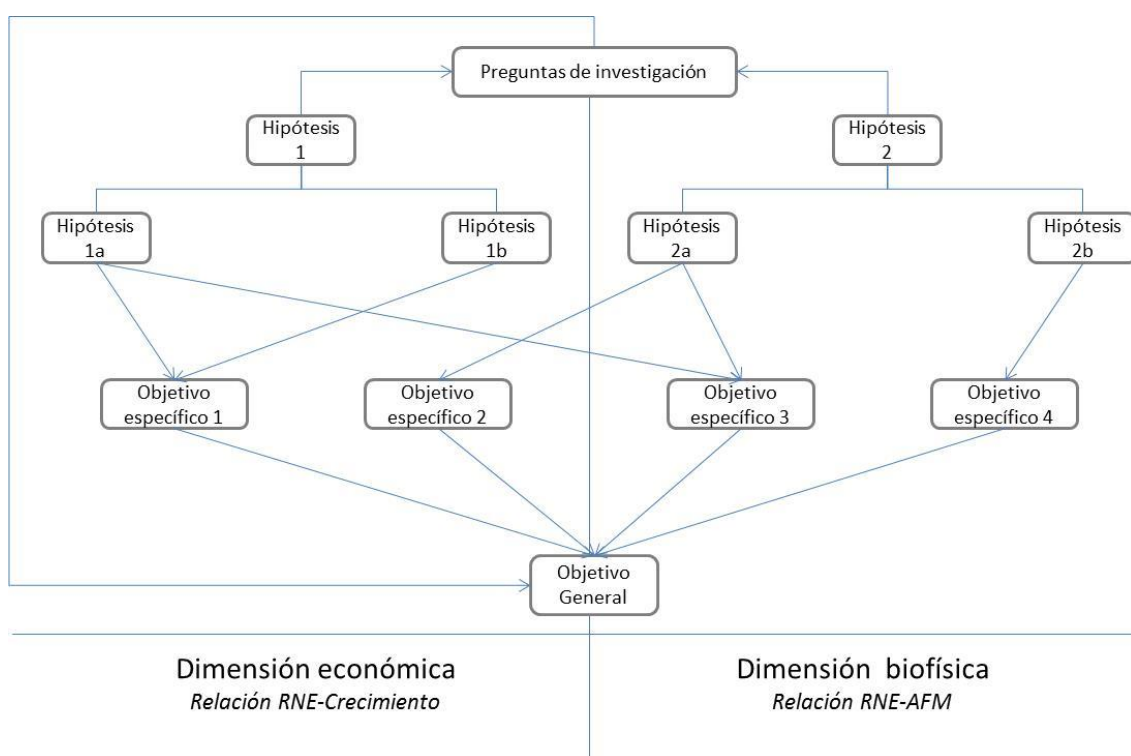


Figura 0. Esquema metodológico de la investigación

Nota. Elaborado por el Autor.

La figura anterior presenta la estructura de la investigación, en la que se conecta las preguntas de investigación con el objetivo general a través de las hipótesis y objetivos específicos¹⁶, diferenciados según la dimensión de análisis a la que corresponden. De este modo en la primera dimensión (lado izquierdo) se vinculan las hipótesis y objetivos específicos relacionados con la sostenibilidad económica y social de la dependencia de los combustibles

¹⁶ Los apartados 1.1.2 y 1.1.3, detallan la estructura de la tesis, así como cada una de las hipótesis, preguntas y objetivos de la investigación.

fósiles, para lo cual se presenta la evolución, situación actual e importancia económica de dichos recursos tanto para la economía en su conjunto como para los entes territoriales, además, se presentan varios análisis empíricos desde distintos enfoques para exponer una visión integral desde esta posición. En el segundo bloque (lado derecho) se vinculan las hipótesis y objetivos específicos relacionados con la conexión biofísica entre la actividad económica en los recursos naturales energéticos y los impactos ecológico-ambientales; el análisis de este apartado se apoya en el rendimiento metabólico de la economía por lo que su lectura debe hacerse en función de los flujos contables del análisis del flujo de materiales (AFM) y sus indicadores asociados de inputs (entradas), consumo y Outputs (salidas) de materiales, así como desde el análisis de las relaciones de intercambio: balanza comercial física (BCF), términos de intercambio ecológicamente desigual y el análisis de la ecoinnovación y ecoeficiencia. De igual manera los resultados deben ser interpretados en relación a las tendencias de desmaterialización y desacoplamiento desde los recursos energéticos con el fin de identificar su incidencia en una estrategia de desarrollo sostenible desde el uso eficiente de los combustibles fósiles.

CAPÍTULO PRIMERO

1. ASPECTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS

“La destrucción ambiental y la creciente escasez de los recursos por fin nos han hecho tomar conciencia del hecho que la producción, la asignación, la elección de insumos y su colocación, no están ocurriendo en los sistemas cerrados o semicerrados, que la ciencia económica ha usado tradicionalmente como modelos teóricos, para explicar los procesos económicos, sino básicamente en sistemas abiertos”.

Karl William Kapp, 1976.

1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Identificación del problema

Pese al largo recorrido histórico de la económica colombiana y de las distintas estrategias de desarrollo¹⁷, el país continúa presentando un patrón primario—exportador, en el cual, la composición de su oferta de exportación¹⁸ continua liderada por los bienes primarios, en especial por los recursos naturales energéticos (RNE), debido en parte a la gran abundancia de estos recursos en el país. Esta abundancia de bienes primarios ha ocasionado una dependencia externa de dichos recursos, haciendo vulnerable la economía a los choques externos (volatilidad de precios, tasa de cambio real, demanda internacional) y afectando la competitividad, la senda de crecimiento y las estrategias de desarrollo adoptadas. De otra parte, el creciente extractivismo de recursos energéticos en las últimas décadas ha agudizado los impactos ambientales y ecológicos derivados de la producción, transporte, distribución y

¹⁷ Como por ejemplo: el Modelo de Industrialización por Sustitución de Importaciones (MISI), la Apertura Económica y la Globalización.

¹⁸ Tradicionalmente la canasta de exportación en el país se divide en *Exportaciones Tradicionales* y *Exportaciones no Tradicionales*. La primera categoría está compuesta por las exportaciones de café, petróleo, carbón y ferroníquel, mientras que la segunda categoría está compuesta por las exportaciones del sector agropecuario, ganadería, caza y silvicultura; sector minero (excluyendo carbón), sector industrial y demás sectores. En esta última categoría destaca las exportaciones de flores, bananas, oro, esmeraldas, papel, cuero y alimentos procesados.

consumo, dificultando el logro de tendencias sostenidas de desmaterialización¹⁹ y desacoplamiento.

La consecuencia de esta dependencia de recursos naturales es la pérdida de control sobre algunos agregados económicos relevantes en el crecimiento y el desarrollo, como el endeudamiento, los precios y divisas, la calidad institucional, las rentas de los recursos y el control fiscal entre otros. Además, la especialización en RNE impide la diversificación de la producción y de la oferta exportable, creando efectos de estrangulamiento en el largo plazo por el agotamiento de dichos recursos y por la degradación ambiental. Por otra parte, a nivel nacional y departamental, el petróleo, el gas natural y el carbón, tienen un peso relevante en la composición de las regalías, de las cuales, se financia una parte significativa de los gastos sociales e infraestructuras del país, como la sanidad, la educación y proyectos de infraestructura, etc. Además los precios del petróleo (y sus derivados), inciden en el nivel y tendencia de la inflación, al crear efectos de transvase entre sectores, como es el caso del sector transporte y el sector agrícola.

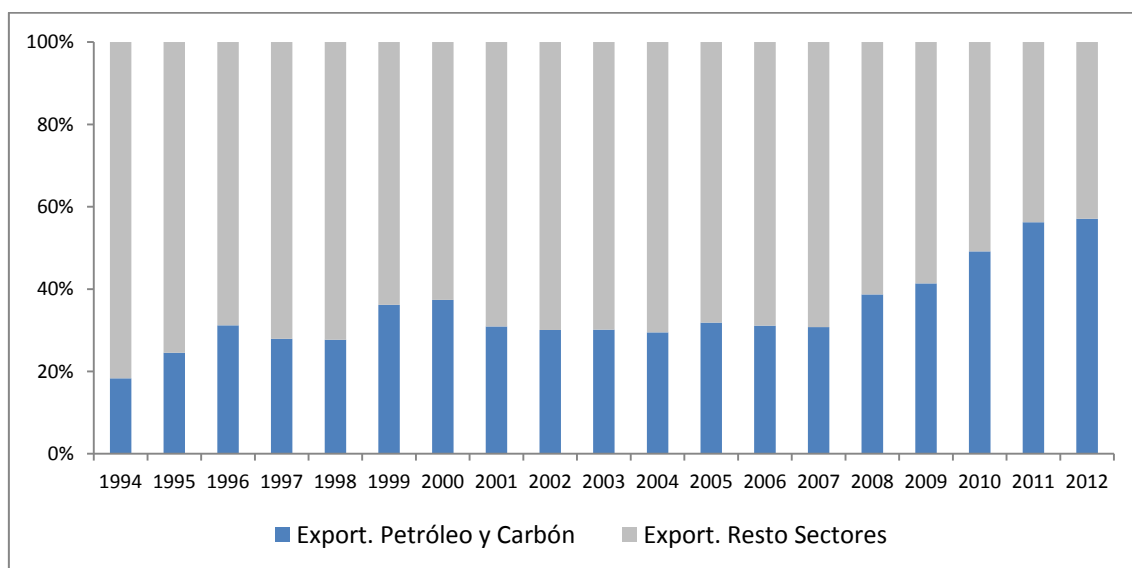


Figura 1. Participación porcentual de las exportaciones de petróleo y carbón, y conjunto de los demás sectores.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de la información estadística del DANE.

En cuanto al contexto internacional la contribución de las exportaciones de petróleo y carbón desde principios de la década de los noventa hasta mediados de la década pasada, como se puede apreciar en la figura 1, representaban en promedio, cerca del 30% de las exportaciones

¹⁹ La desmaterialización (mayor producto por unidad de material) y el desacoplamiento de impactos en una economía, supone una transformación de la actividad económica que se traduce en un beneficio socioambiental, lo cual constituye un objetivo para alcanzar un modelo de desarrollo sostenible.

totales, no obstante, en el último quinquenio el comportamiento de las exportaciones de petróleo y carbón han experimentado una aceleración en su ritmo de crecimiento, pasando de representar el 30,8% de las exportaciones totales en 2007 a más del 60% en 2012, en otras palabras, las exportaciones tradicionales (sin petróleo y carbón) más la totalidad de las exportaciones no tradicionales (en las que se computa la totalidad de las exportaciones industriales), pasaron de representar cerca del 80% a principios de los noventa a representar menos del 40% del total de las exportaciones en 2012²⁰. Sin embargo, y a pesar del buen comportamiento en términos económicos de las exportaciones de petróleo, gas natural y carbón, las actividades de hidrocarburos y carbonífera hacen parte de la industria energética, de las cuales se deriva en buena medida grandes impactos ambientales en las distintas fases de operación²¹, afectando de manera considerable el equilibrio ambiental de la atmosfera, el agua y el suelo, y por tanto, afectando la biodiversidad ecosistémica, los biomas y la salud humana (Tamayo & Ramírez, 2014). Asimismo, la quema de este tipo de combustibles fósiles es una de las principales causas del calentamiento global; en este sentido, la liberación de CO₂ por la quema de combustibles fósiles, representó para el caso colombiano un incremento del 45,7% entre 1990 y 2010.

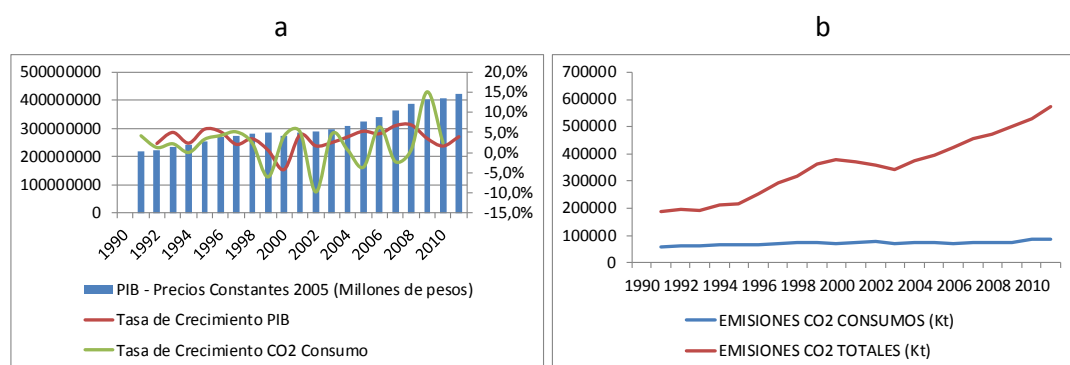


Figura 2. PIB y emisiones de CO₂ de Colombia.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de la información estadística del DANE y la base de datos de indicadores de desarrollo mundial del Banco Mundial.

²⁰ La participación porcentual de las exportaciones de hidrocarburos asciende a cerca del 70% si se añaden las exportaciones de Gas Natural, que han iniciado desde 2007.

²¹ Cabe precisar que los impactos generados por el petróleo y el carbón no se generan sólo a partir de su uso, sino que dentro de las diferentes etapas que componen su cadena de valor (exploración, producción, transporte y mercadeo), se generan importantes impactos ambientales que modifican irreversiblemente el medio ambiente, en especial, donde son ejecutados proyectos de explotación y producción de carbón y petróleo, además de los impactos sociales y culturales que se ejercen sobre comunidades étnicas que se asientan en territorios donde se poseen reservas probadas de estos recursos.

De igual manera, en las dos últimas décadas la tasa de crecimiento de las emisiones de consumo de combustibles fósiles ha mostrado un comportamiento aparejado a la tasa de crecimiento de la economía (figura 2a), a la vez que las emisiones totales se han multiplicado por 3 (figura 2b), además, tanto el PIB real²² como las emisiones totales se han incrementado de forma ostensible en el mismo período (93,9% y 208,1% respectivamente).

En cuanto a los flujos de RNE el comportamiento ha sido similar, es decir, se ha experimentado un incremento en la extracción de combustibles fósiles, dejando ver, de esta manera, la dependencia material de la economía, que constituye uno de los principales soportes del modelo de desarrollo vigente. Esta dependencia genera la continuidad de la dinámica extractivista de recursos naturales no renovables, que a su vez acentúa un desarrollo netamente material de la economía, que termina disminuyendo la calidad ambiental y haciendo menos eficiente el aprovechamiento de los bienes y servicios ambientales propios de las regiones productoras, y por extensión, del país en conjunto.

En resumen, las actividades económicas basadas en la extracción de los recursos minero energéticos a pesar de contribuir en términos económicos en el ritmo de crecimiento, obstruyen algunos factores que incentivan el desarrollo desde el punto de vista de la sostenibilidad, incidiendo tanto en su posición en la economía mundial como en términos de bienestar; a esto se debe sumar la débil tendencia a la desmaterialización, lo cual comporta inconvenientes biofísicos desde el punto de vista del metabolismo socioeconómico (análisis del flujo de materiales –AFM–), como la pérdida de eficiencia de los recursos y la incapacidad de desacoplar el uso de recursos y los efectos ambientales del crecimiento económico, y lograr procesos productivos más sostenibles con baja intensidad de carbono. Un ejemplo de esto es la tendencia creciente de las emisiones de CO₂ y de la producción de petróleo (figuras 3a y 3b) que presentan indicios en contra del desacoplamiento.

²² Según datos oficiales del Banco Mundial.

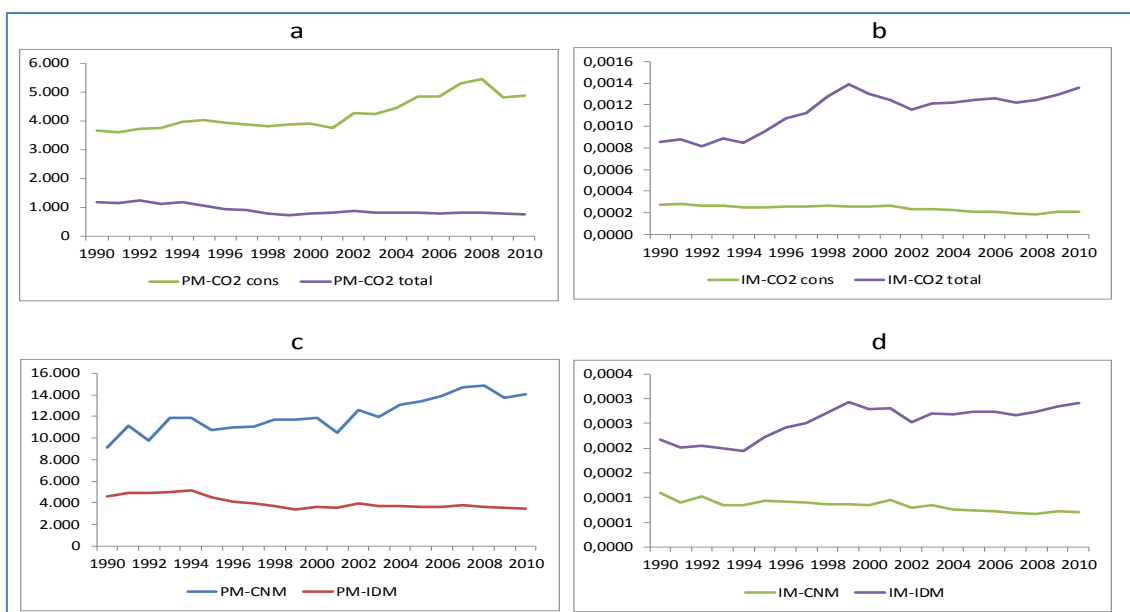


Figura 3. Productividad e intensidad de materiales y emisiones.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015.

Sumado a lo anterior debe resaltarse el bajo esfuerzo (y los escasos incentivos) realizados para desarrollar tecnologías orientadas a la sustitución de recursos naturales no renovables, o al menos, para alcanzar mayores tasas de uso eficiente de los mismo, especialmente en las actividades de hidrocarburos y carbón, con el propósito de realizar una generación de energía no contaminante. En este punto radica el aspecto central del problema de investigación, pues, de una parte, dada la estructura económica del país, los combustibles fósiles son una fuente significativa de ingresos (divisas, impuestos y regalías), que contribuye al sostenimiento del gasto e inversión social, y de otra parte, su explotación intensiva contribuye al mantenimiento de un modelo de desarrollo extractivista (netamente material) que redundo en una mayor degradación ambiental y de ecosistemas locales, traduciéndose esto en una desconexión entre las dimensiones social y ambiental implícitas en el Desarrollo, originada desde el entorno económico. Concretamente en el caso de los combustibles fósiles la sobreexplotación de estos recursos acelera su agotamiento, ocasionando una pérdida en el stock de estos recursos y, por tanto, una disminución en el largo plazo de los ingresos percibidos por su comercialización, a la vez que agrava las problemáticas ambientales, generándose una espiral que reproduce el expolio de los recursos naturales cada vez a una tasa mayor, para mantener un determinado nivel de beneficios económicos, a la vez que se incrementan los problemas y riesgos ecológico ambientales. La ruptura de este círculo de autodegradación implica el desarrollo de procesos de generación de energías limpias y un uso eficiente de los recursos energéticos que permitan conciliar los ámbitos socioeconómico y ambiental, lo cual puede lograrse con el desarrollo de

procesos de ecoinnovación-ecoeficiencia que puedan ser articulados en el sistema productivo (en especial de los sistemas hidrocarburos y carboníferos), en los cuales el desarrollo de estos procesos ha sido lento en el país.

1.1.2. Objeto de estudio, justificación y motivaciones de la investigación

El marco general de análisis en el que se suscribe la investigación es el estudio de los procesos de sostenibilidad que permiten reproducir las actividades económicas y sociales dentro de los límites naturales —biofísicos— del territorio en el que se realizan. Puntualmente el objeto de estudio es profundizar en la comprensión de los efectos de la dependencia de los recursos naturales energéticos (combustibles fósiles) y de sus mecanismos de transmisión, tanto en su influencia en la producción total como en el metabolismo socioeconómico (flujo de materiales), en la economía colombiana. Así, el objeto de estudio gravita en torno a los procesos de sostenibilidad en el ámbito de los recursos naturales energéticos del país con el propósito de establecer su importancia y conexión con una estrategia de desarrollo *-Desarrollo Sostenible-*, que conduzca a una mayor eficiencia en el uso de los recursos y en bajos niveles de emisiones de contaminantes²³. Esta finalidad requiere la delimitación de un espacio geográfico en el que se compruebe el cumplimiento o ausencia de dichos procesos e interacciones sostenibles, para lo cual, se plantea como sujeto de estudio a Colombia como país, y sus entes territoriales (Departamentos) de forma individual, puesto que, existen departamentos productores y no productores de RNE que interactúan de forma diferente; la unidad de estudio está configurada por los combustibles fósiles: petróleo, gas natural y carbón, y la dimensión de análisis está dividida en dos, la económica-social y la ecológica-ambiental. De esta forma se intenta insertar de forma holística²⁴ el objeto de estudio dentro un marco de referencia transversal para enriquecer el análisis de forma detallada a nivel de país y regional.

La justificación de esta temática radica en profundizar en la explicación de cómo se relaciona la actividad extractiva de combustibles fósiles con la estructura económica del país y con el impacto ecológico—ambiental generado en la producción de los mismos, además de contribuir

²³ i.e. modelo de desarrollo bajo en carbono.

²⁴ No obstante, cabe aclarar que dentro de este énfasis no se contempla el enfoque de género y el enfoque étnico, que se reconocen como igualmente importantes para una comprensión más detallada del objeto de estudio, sin embargo, debido a la delimitación propuesta y a las variables de interés establecidas para el análisis, no se contemplan estos enfoques en la investigación.

a entender los mecanismos generadores de las desigualdades entre regiones desde el punto de vista de la asignación de recursos y regalías derivadas de los RNE, y su importancia en el crecimiento económico y el desarrollo sostenible del país. En este sentido la relevancia que representan los combustibles fósiles para Colombia puede ser observada tanto a nivel nacional, como a nivel regional o sectorial. A nivel nacional, los combustibles fósiles contribuyen de forma significativa en la composición de las exportaciones y generación de divisas (los combustibles fósiles en conjunto representaron el 70% de las exportaciones en 2010)²⁵, además son una fuente importante en la recaudación de impuestos (ingresos fiscales) y la generación de regalías. Por otra parte, las RNE en conjunto representaron cerca del 55% y 5% del PIB minero energético y PIB total en 2009, respectivamente, dejando ver de un lado el mayor peso que tienen el petróleo, el gas natural y el carbón dentro de la producción minero energética del país, y de otro lado, aunque este sector sólo representó, en promedio, cerca del 7% de la producción total del país en la década pasada, su importancia regional y su impacto en la entrada de divisas, las exportaciones, la atracción de inversión extranjera directa (IED) y en la balanza comercial son de gran importancia. A nivel regional los combustibles fósiles tienen un notable efecto en la distribución de las regalías directas (departamentos productores y municipios puerto) así como en los ingresos fiscales, además de su presencia en un área considerable del territorio nacional; de los 32 departamentos que tiene el país, en 20 de ellos se produce petróleo y gas natural, y en 9 se produce carbón (de los cuales en 7 se produce carbón y petróleo —o gas natural— simultáneamente), en otros términos, la presencia de la actividad extractiva de combustibles fósiles está presente en el 62% de los departamentos del país.

A nivel sectorial los combustibles fósiles dentro del sector energético en suma han representado la principal fuente de energía, seguidos de la hidroeléctrica y la biomasa (leña y bagazo), muestra de ello es que para finales de la década pasada el petróleo, el gas natural y el carbón representaron cerca del 92% de la producción de energía primaria y el 78% de la producción total de energía en el país (UPME, 2011), además, en los últimos años dicha participación ha mostrado una tendencia creciente. Estos aspectos, en adición a los anteriormente descritos, dejan ver la relevancia de estos recursos en la matriz energética del país, en la estructura económica nacional y regional, y en algunos agregados económicos como los ingresos fiscales, las regalías, la atracción de la inversión y la entrada de divisas entre otros. No obstante, si bien estos aspectos pueden ser positivos, el uso intensivo de los RNE también

²⁵ Cálculos propios con base en la información de Comercio Exterior del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas -DANE-.

puede comportar inconvenientes en cuanto a la generación de una dependencia a estos recursos, una alta concentración de la oferta de exportación en bienes primario energéticos, y un efecto cíclico de los ingresos y gastos públicos atados al comportamiento de los ingresos de los RNE (Perry & Olivera, 2012) y por tanto, a la volatilidad de los precios internacionales. Todo esto puede generar riesgos económicos y ambientales en el largo plazo, y puede generar un efecto contrario en la convergencia hacia un modelo de desarrollo sostenible, debido al agotamiento de los recursos y la degradación ambiental.

Asimismo, desde la perspectiva ecológico-ambiental el análisis de la presión ambiental soportada por la extracción de recursos y que se refleja en el análisis del flujo de materiales y la balanza biofísica, permiten complementar el análisis desde una dimensión no monetaria. En este sentido la extracción total de RNE presentó una tasa de crecimiento entre 1990 y 2010 del 161%, y una tasa de crecimiento promedio anual de 4,68%, y representaron una participación promedio en el mismo periodo del 30%²⁶ del total de la extracción doméstica de materiales. De forma aparejada a la tendencia anterior las emisiones de CO₂ de consumo de combustibles fósiles se incrementaron en 45,7% entre 1990 y 2010.

En síntesis tanto los aspectos económicos como los ambientales muestran la importancia que los combustibles fósiles tienen para el país y denotan la justificación del tema de investigación, en especial al tratarse de una economía pequeña, en desarrollo, primario exportadora y dependiente en el contexto internacional, lo cual acentúa su dinámica desde el punto de vista ambiental.

Por otra parte, las motivaciones que impulsan el desarrollo de esta investigación son, en primer lugar, contribuir a mejorar y profundizar la comprensión sobre los efectos económico-ambientales del extractivismo de combustibles fósiles en la economía colombiana, en segundo lugar, el estudio se plantea con el propósito de establecer los vínculos entre los puntos clave de la explotación de los recursos naturales energéticos que pueden ser relevantes en el diseño de una estrategia de desarrollo sostenible que contemple el cambio de un modelo productivo intensivo a uno eficiente en producción primario-energética y, en tercer lugar, la falta de estudios y escasa literatura relacionada con el nexo entre ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de los combustibles fósiles también motiva el desarrollo de esta investigación.

²⁶ Aunque la biomasa presentó una mayor tasa de participación promedio en el periodo (47%) su participación disminuyó progresivamente a lo largo de la serie, mientras que los combustibles fósiles experimentaron un aumento en su participación dentro de la extracción nacional.

1.1.3. Objetivos, hipótesis y preguntas de investigación

i. Objetivos:

Objetivo general

Establecer los impactos, elementos determinantes y mecanismos de transmisión de los combustibles fósiles, en el desarrollo, el crecimiento económico y el flujo de materiales de la economía colombiana en el período 1990-2010, así como identificar su relación en el proceso de desmaterialización y desacoplamiento, como fundamentos de soporte en la definición de una estrategia de desarrollo sostenible para el país.

Objetivos específicos

Describir las tendencias de comportamiento del sector de recursos naturales energéticos — RNE— y establecer el impacto de estos recursos en la economía nacional y regional, delimitando los factores condicionantes y mecanismos de transmisión relacionados con el crecimiento y desarrollo económicos.

Identificar y especificar el comportamiento del flujo de materiales de forma general y específicamente de los recursos naturales energéticos, identificando los determinantes del Input y consumo de materiales.

Analizar la dinámica de la balanza monetaria y biofísica (de recursos naturales energéticos) del comercio internacional colombiano y su relación con el patrón de inserción en la economía mundial.

Establecer los factores y mecanismos que posibilitan la conexión entre ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de recursos naturales energéticos y, especificar la contribución de los RNE en las tendencias de desmaterialización y desacoplamiento de la economía colombiana.

ii. Hipótesis:

Las hipótesis principales (denominadas H1, H2) se relacionan de forma complementaria para abordar el objetivo general desde las dos dimensiones planteadas en la investigación. Cada hipótesis se desagrega en hipótesis auxiliares que se encadenan con los objetivos específicos, de tal manera que se mantenga la coherencia y estructura de la tesis. El sistema de hipótesis que soporta las preguntas de investigación se presenta de forma gráfica en el siguiente epígrafe²⁷.

Hipótesis principales

- Hipótesis 1: Existe un mecanismo de distorsión socioeconómico y ambiental derivado de la dependencia de recursos naturales energéticos que condiciona la capacidad del País para sostener un ritmo de crecimiento elevado, por consiguiente la especialización productiva en recursos primario energéticos deteriora las posibilidades de desarrollo de las regiones y del País, actuando a través de la asimetrías entre regiones, el agotamiento de los recursos que genera una disminución de las rentas, la ausencia de factores dinamizadores de la economía a partir del consumo de energía, una menor capacidad de crecimiento económico derivado de la pérdida de calidad institucional asociada a los recursos energéticos, y una concentración creciente de emisiones de contaminantes atmosféricos aparejadas con la actividad económica.
- Hipótesis 2: El patrón de especialización externo del País centrado en el papel de proveedor de recursos naturales energéticos contribuye a una asignación desigual de los beneficios y costos ecológico-ambientales, expresado en términos de relaciones de intercambio ecológicamente desigual, además de condicionar la tendencia en desmaterialización y desacoplamiento de la economía colombiana. No obstante, un mecanismo mediador entre la conservación de los recursos y su uso en el proceso económico es la ecoinnovación y ecoeficiencia, las cuales incentivan el aumento de la productividad de los recursos naturales energéticos a la vez que mitigan los impactos ambientales negativos derivados de la especialización externa, comportando de esta manera un beneficio socioambiental que contribuye desde la eficiencia energética a una transformación de la actividad económica,

²⁷ La definición de las variables y la forma funcional, así como, las unidades de medida, fuentes y estructura de los datos entre otros aspectos, se presentan en el apartado de la metodología.

por lo que, la ecoinnovación y ecoeficiencia puede constituir un instrumento para alcanzar un modelo de desarrollo sostenible en Colombia.

Hipótesis auxiliares

- Hipótesis 1a: La presión de la demanda externa e interna crecientes sobre los combustibles fósiles incide en la generación de un mayor volumen de emisiones de contaminantes atmosféricos impidiendo la mitigación del deterioro ambiental, por lo que el efecto negativo sobre el medioambiente no disminuye ni se revierte en el largo plazo. Además, el aumento del consumo de energía (primaria) derivada de la creciente demanda de los recursos primario energéticos no actúa como mecanismo indirecto en el aumento de la actividad económica, por lo que la contribución de estos recursos es limitada en términos de consumo de energía.
- Hipótesis 1b: El crecimiento de los volúmenes de extracción de recursos naturales energéticos aumenta la disponibilidad de las rentas de los recursos en el presente, pero acelera la tasa de decrecimiento de las rentas futuras debido al agotamiento de los recursos energéticos, lo cual genera desigualdades que condicionan el nivel de desarrollo regional. Asimismo, la distribución asimétrica de la explotación de los recursos genera una pérdida de calidad institucional que ralentiza el ritmo de crecimiento del País y de sus regiones.
- Hipótesis 2a: El progresivo incremento de la carga ambiental asociada a la extracción de recursos naturales energéticos condiciona el deterioro de la balanza comercial física y de los flujos de materiales, así como de la relación de los términos de intercambio ecológicos relacionados con los recursos naturales energéticos, mostrando de esta manera que el modelo de desarrollo basado en el extractivismo de recursos energéticos es insostenible.
- Hipótesis 2b: La contraposición entre conservación y eficiencia partir de los recursos naturales energéticos en contraste con el aumento de la actividad económica puede ser canalizado a través de un mecanismo corrector que genere un doble efecto: i) incentivar el aumento de la productividad y eficiencia de los recursos energéticos a la vez que reduce los impactos y presiones ambientales derivados de su explotación (desacoplamiento), y ii) generar efectos positivos en la economía que se traduzcan en mejoras en el bienestar social; este mecanismo consiste en la ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de recursos

naturales energéticos, que puede constituirse un elemento central en el diseño de una estrategia de desarrollo sostenible.

Sistema de hipótesis

Esquemáticamente el sistema de hipótesis se presenta en la figura 4, y se elabora desde dos dimensiones; la *dimensión económico-social* desde la que se busca establecer los impactos, el tipo de relación, la forma funcional, la incidencia en la inserción internacional y los mecanismos de transmisión entre los recursos naturales energéticos y el crecimiento económico y el desarrollo sostenible del país. Desde la segunda, *dimensión biofísica*, se busca establecer las conexiones entre la actividad económica de los recursos naturales energéticos y los impactos en los flujos de materiales. De esta manera se aborda el estudio desde dos enfoques complementarios²⁸ que amplían el alcance y conocimiento del tema de investigación.

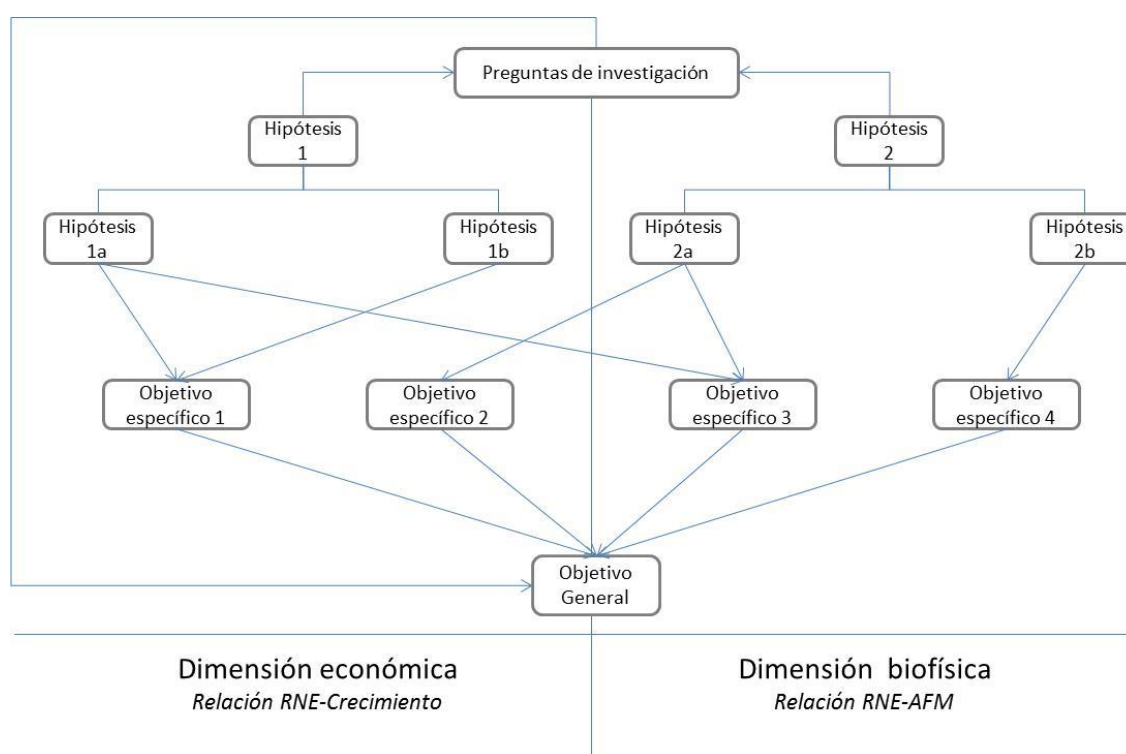


Figura 4. Sistema de hipótesis.

Nota. Elaborado por el Autor.

²⁸ Por una parte, se analiza la relación entre RNE y el sistema económico desde una posición macroeconómica y, por otra parte, se estudia esta relación desde el punto de vista socio-ambiental integrando aspectos no monetarios como la desmaterialización y el desacoplamiento de la economía, así como, su vínculo con la ecoinnovación.

iii. Preguntas de investigación:

¿La dependencia de los recursos naturales energéticos es determinante del ritmo de crecimiento económico y predispone el uso de los recursos hacia un modelo de sostenibilidad débil?

¿Cómo se relaciona la extracción de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón mineral como formas de energía primaria) con la tendencia de desmaterialización de la economía colombiana?

¿Cómo se relaciona la ecoeficiencia y la ecoinnovación en el sector de combustibles fósiles y, a través de qué mecanismos puede darse un desacoplamiento de estos recursos energéticos y de los impactos ambientales derivados de su producción?

1.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.2.1. Referentes teóricos y conceptuales: la relación entre naturaleza y economía

Históricamente el estudio concreto de los recursos de la naturaleza desde la economía es relativamente reciente aunque la consideración de conceptos económicos relacionados con ellos tiene una larga tradición. A continuación se presenta una descripción breve de la evolución reciente sobre la visión de la naturaleza que han tenido las distintas corrientes de pensamiento económico a fin de observar el tratamiento que ha recibido.

1.2.1.1. La naturaleza en el pensamiento económico tradicional

La concepción del papel de los recursos naturales en el análisis económico se encuentra presente desde las escuelas mercantilista, fisiócrata, liberal, clásica y neoclásica, que aunque con algunas diferencias y matices en sus planteamientos y metodología, comparten un núcleo central en la visión de la naturaleza al considerar la función de los recursos naturales desde una posición productivista (Alfranca, 2012). Desde esta visión ortodoxa, este núcleo central de análisis sobre los recursos naturales y el medio ambiente ha sido retomado desde mediados

del siglo pasado, por dos enfoques modernos que razonan sobre su importancia en el proceso económico, tales como la economía ambiental y la economía de los recursos naturales que soportan la relación entre naturaleza y economía en el valor de cambio y la racionalidad productivista. A continuación se exponen los planteamientos de estos enfoques acerca de su visión sobre la naturaleza, así como la forma en que es relacionada en la economía.

La economía ambiental relaciona el análisis económico con la gestión de los recursos (agua, aire, tierra, etc.) y la problemática del medio ambiente (residuos y contaminación) estableciendo la conexión entre la actividad económica y el impacto medioambiental producido como consecuencia de la primera (Azqueta, 2007); este referente teórico se orienta en determinar, por una parte, las causas de la degradación del medio natural que se originan en la esfera de la economía, y por otra parte, en establecer los costos económicos que supone la pérdida de recursos naturales y ambientales, además, según Field Barry (2003), la economía ambiental contribuye a la toma de decisiones de los reguladores y legisladores a partir del análisis de las distintas medidas factibles para tratar de revertir el proceso de degradación ambiental.

El planteamiento teórico sugiere que al involucrar los costos de la contaminación en cualquier fase en las actividades económicas (explotación, producción, distribución, etc.) se produce un incremento de los costos reales²⁹, lo cual genera un aumento de los precios y por consiguiente una disminución de la producción; al internalizar los costos ambientales (costo de la contaminación o de pérdida de biodiversidad) derivados del proceso productivo, el costo marginal se incrementa encareciendo la producción total, debido a esto las cantidades producidas disminuyen, es decir, que aumenta la pérdida de los consumidores, no obstante esta pérdida es menor que la ganancia social por disminución de la contaminación al desincentivarse actividades económicas contaminantes (Fischer & Dornbusch, 1986). El mecanismo utilizado para establecer las relaciones teóricas entre el medio ambiente y la actividad económica, es la valoración económica-social de bienes ambientales que carecen de mercado o derechos de propiedad, como la contaminación o el aire limpio. Algunas de las aportaciones teóricas más relevantes sobre las que se soporta el análisis de la economía ambiental son las realizadas por Pigou (1920) y Coase (1960).

²⁹ De acuerdo a la teoría los costos reales incrementan puesto que se relacionan las externalidades (costos ambientales) que en el análisis convencional permanecen excluidos.

Estos autores razonaron sobre el impacto (externalidades) de la actividad económica sobre los sistemas de producción en los que los precios no recogen toda la información, puesto que no se contabilizan todos los costos asociados a la producción, generando de esta manera, señales equívocas que incentivan conductas agresivas hacia el medio ambiente (Reyes, Galván, & Aguiar, 2005). Para corregir esta distorsión Pigou propuso corregir las externalidades negativas a través del cobro de un impuesto compensatorio de los daños ambientales causados, basando su trabajo en el análisis marginal: determinación del nivel socialmente óptimo de contaminación, pasando de la reducción de la actividad productiva del nivel óptimo privado (costo marginal privado) al óptimo social (costo marginal social), para lo cual se requiere de la intervención del Estado mediante subsidios e impuestos que corrijan los fallos de mercado (externalidades). Por otra parte, Coase razonó sobre el logro del óptimo social o externalidad óptima (nivel de contaminación óptima permitida) desde la no intervención del estado. La premisa de partida es que los agentes pueden llegar a un acuerdo que conduzca al óptimo social, basado en una correcta definición de los derechos de propiedad o derechos de uso del recurso ambiental. La idea subyacente en estas contribuciones es la de incentivar el nivel óptimo de contaminación (vía impuestos o vía negociación). Sin embargo, de esta forma se trata de compensar monetariamente por los costos sociales ocasionados por las actividades productivas contaminantes (Kapp, 1950), sin tener en cuenta la situación y presión sobre la degradación de los ecosistemas y el deterioro de la salud humana.

Por su parte, la economía de los recursos naturales estudia el rol de proveedor de recursos que tiene el entorno natural y que son de utilidad en los procesos productivos. El postulado central en este cuerpo teórico es que “los recursos naturales tienen una tasa óptima de uso”³⁰, este planteamiento fue establecido formalmente por Gray (1914) y desarrollado posteriormente por Hotelling (1931), este último realizó la primera aportación en profundidad sobre el tratamiento económico de los recursos agotables (no renovables), bajo la perspectiva de que la explotación más rentable de un recurso no renovable era aquella en la que el precio de una unidad de recurso natural agotable fuera mayor que la suma de su costo marginal de extracción y su costo de oportunidad, aumentando conforme a la tasa de interés, describiendo la trayectoria en el tiempo de la extracción de los recursos naturales que maximiza el valor de dichos recursos (lo cual determina a la luz de la valoración económica la rentabilidad de explotar el recurso en el presente o conservarlo en su estado natural hasta un determinado período futuro) (Hotelling, 1931). De esta forma Hotelling formalizó la relación entre la tasa de

³⁰ Tasa óptima de extracción en el caso de recursos naturales renovables y tasa optima de explotación en el caso de recursos no renovables.

regeneración y producción geológica de los recursos no renovables en contraste con el ritmo de explotación para su utilización en el proceso económico, buscando establecer la cantidad o asignación eficiente de extracción del recurso por unidad de tiempo. Así la eficacia en la gestión de los recursos como los forestales, mineros, agua dulce, petróleo y reservas pesqueras entre otros se convierte en el objeto de estudio dentro de este análisis económico, dado que dicha gestión soporta en buena medida el crecimiento económico material. El cuadro 1, presenta una síntesis de la evolución del pensamiento económico ortodoxo relacionado con la naturaleza y el medio ambiente.

Cuadro 1. La naturaleza en el pensamiento económico

Escuela / Enfoque	Postulado con relación a la Naturaleza	Algunos exponentes	Planteamientos
Escuela Neoclásica	Ruptura entre naturaleza y economía en la noción de factor creador de riqueza. Se desconoce el papel de la naturaleza salvo para ser aceptada como forma de capital que puede ser sustituida en la creación de valor (producción). Los autores en este referente se orientan en el estudio de la asignación eficiente de recursos a través del mercado y enfatizan en la libre movilidad de factores, el equilibrio de la renta y la producción, y el pleno empleo, por lo que de forma aislada se cuenta con referencias que vinculen a la naturaleza en este análisis.	Robert Solow	Tratamiento de la naturaleza como una expresión del capital (capital natural) que es sustituible por otra forma de capital (capital producido por el hombre), de manera que puede mantenerse constante el stock de capital total aumentando el capital producido y disminuyendo el capital natural
		Kenneth Arrow	Retoma la hipótesis de la relación de U invertida entre crecimiento económico y calidad ambiental en el que la contaminación aumenta en una primera fase y luego decrece, concibiéndola como un efecto secundario aceptable del crecimiento económico que puede ser rencausado a través de la legislación ambiental, y el fortalecimiento de las instituciones para la protección ambiental. Plantea que es posible que el crecimiento económico y demográfico se mantengan pese a la finitud de la base material de los recursos ambientales, debido a la implementación de mejoras en la gestión y legislación del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales, así como por los cambios estructurales en la economía, lo cual se sustenta en la tecnología, las preferencias, y en la estructura de la producción y el consumo.
Economía Ambiental	Estudio de las causas de la degradación del medio natural que se originan en la esfera de la economía, y determinación de los costos económicos que supone la pérdida de recursos naturales y ambientales.	Arthur Cecil Pigou	Estudio de impactos (externalidades) de la actividad económica sobre los sistemas de producción en los que los precios no recogen toda la información, puesto que no se contabilizan todos los costos (ambientales) asociados a la producción, generando señales equívocas que incentivan conductas agresivas hacia el medio ambiente. Propuesta de corrección de las externalidades negativas a través del cobro de impuestos compensatorios de los daños ambientales causados.
		Ronald Harry Coase	Estudio del óptimo social o externalidad óptima (nivel de contaminación óptima permitida) desde la no intervención del estado. Lograr el óptimo social basado en una correcta definición de los derechos de propiedad o derechos de uso de los recursos ambientales.
		Field Barry y Diego Azqueta	Valoración económica de los bienes y servicios ambientales. Análisis costo beneficio y costo eficiencia aplicado a los recursos y la contaminación.
Economía de los recursos Naturales	Estudio de la explotación de los recursos naturales en el largo plazo con el propósito de	Harold Hotelling	Estudio sobre la tasa optima de explotación de un recurso natral. Explotación rentable de un recurso natural no renovable en

	mantener un nivel de rentabilidad determinado sin agotar (asignación eficiente de) la fuente natural, generadora del beneficio económico.		correspondencia con su tasa de regeneración y producción geológica y su tasa de explotación económica.
Economía Ecológica Y Desarrollo Sostenible	Síntesis integradora y redefinición de la relación entre economía y ecología. Visión holística, dinámica, sistémica y evolutiva del proceso e interrelaciones entre sociedad, medioambiente y economía. Reconoce límites biofísicos que condicionan la continuidad ilimitada de la actividad económica. Rechaza la sustitución entre capital natural y capital físico para mantener un nivel determinado de capital total y de bienestar.	Constanza	Plantea la sostenibilidad como eje central y la delimita frente al sistema o subsistemas y el horizonte temporal en el que se enmarca.
		Boulding	Énfasis en los límites del planeta. Incapacidad de mantener indefinidamente la extracción de recursos naturales, e incapacidad del planeta para simular los residuos generados por la actividad humana.
		Naredo	Crítica a la actividad humana y razonamiento económico, desvinculados de la dimensión biofísica. Expone la proximidad del sistema económico a los límites del planeta en cuanto a su resiliencia y capacidad de carga.
		Martínez—Alier	Razonamiento desde la ecología social. Crítica desde el ecologismo al crecimiento económico. Sostiene la postura de reducir la esfera económica (decrecimiento), para hacer compatible la actividad económica con la capacidad del planeta para mantenerla.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de Alfranca, (2012); Kula, 2006; Ramos, (2005); Arrow et al., (1995) y Solow, (1974).

Crítica al pensamiento económico tradicional

El eje central en el que se sustentan las críticas al pensamiento económico convencional en cuanto a la forma en que es vinculada la naturaleza en la economía, parte de su entendimiento como un instrumento generador de valor dentro del proceso económico, relegando los recursos naturales (renovables y no renovables) a un elemento de utilidad en los procesos productivos (Pearce & Turner, 1995) y por tanto generando una ruptura entre el medio físico y el razonamiento económico. Esta ruptura entre el mundo físico y la economía se ha consolidado con los planteamientos de la doctrina neoclásica, puesto que la simplificación y reducción del objeto de estudio de la Economía y la abstracción del análisis monetario fundamentado en la posibilidad mantener una expansión ilimitada de la producción aislaron el razonamiento económico del medio físico en el que se desarrollaban las actividades económicas. Esta visión parcelada, mecanicista y reduccionista fragmentó el contexto y la complejidad de la realidad, generando un análisis unidimensional de los problemas (Morin, 2006). Además, la valoración monetaria en función del valor de cambio, el tratamiento de la naturaleza como una expresión del capital³¹ y la idea de la sustituibilidad perfecta entre las formas de capital (capital natural y capital producido por el hombre) llevaron a mantener la noción acrítica de poder mantener constante el stock de capital total de forma tal, que se invirtiera en capital producido por el hombre, tanto como se fuera perdiendo en capital natural (Solow, 1986)³². En resumen el pensamiento ortodoxo consolidó el reduccionismo monetario, en el que se podía prescindir de los recursos naturales para explicar el funcionamiento del sistema económico, el cual ya no encontraba límites físicos a su capacidad de expansión.

No obstante, el análisis del medioambiente desde la economía ha avanzado notoriamente, y desde posturas recientes más apartadas del análisis convencional, la visión (y metodología de estudio) de la naturaleza se ha diferenciado y redefinido situando el medio natural por fuera y por encima de la esfera económica. A continuación se presenta esta visión alternativa de la relación entre naturaleza y economía.

³¹ Que es susceptible de ser apropiado, explotado y sustituido, dentro del proceso económico con el fin de añadir valor a la producción y mantener una dinámica de mercado en la que se favorece su valoración económica.

³² Este argumento es una reinterpretación de Solow de la regla de Hartwick la cual afirma, según Ramos (2005) que... *“todos los ingresos derivados de la propiedad de los recursos naturales agotables (que se revalorizarían con el tiempo según la regla de Hotelling) deberían invertirse en capital manufacturado con objeto de asegurar un consumo sostenible para una población dada”* (p. 64).

1.2.1.2. La reinterpretación del medio natural. Del razonamiento económico al razonamiento ecológico-ambiental

Desde mediados del siglo pasado una de las principales preocupaciones de la economía convencional ha estado centrada en la explicación del proceso económico y de las causas que impulsan el crecimiento material de la economía. Durante varias décadas han proliferado estudios orientados en explicar los determinantes del crecimiento económico y los factores que incentivan su tasa de incremento en el largo plazo (Harrod, 1939; Prescott, 1998; Solow, 1956, 1957; Swan, 1956), así como, del estudio de los vínculos (efectos) entre el crecimiento económico, la renta per cápita y la desigualdad (Anand & Kanbur, 1993; Dawson, 1997; Kuznets, 1955), el ingreso y su distribución (Morley, 2000; Ranis & Stewart, 2002), e incluso su nexo con el medio ambiente (Arrow et al., 1995; Banco-Mundial, 1992; Egli & Steger, 2007; Grossman & Krueger, 1995; Ravallion, Heil, & Jalan, 1997, 2000).

Sin embargo, todas estas contribuciones sobre el proceso económico han reforzado el imaginario del productivismo y el reduccionismo económico (Latouche, 2008), y han contribuido a asumir el crecimiento económico como la principal meta a escala global, dado lo beneficioso que resulta para el aumento de los medios de vida (bienestar). Según José Manuel Naredo (2006a), la razón de que esta noción beneficiosa del crecimiento haya sido así, es que el sistema convencional de razonamiento económico ha favorecido el análisis de la valoración en términos de valor económico, contemplando únicamente las unidades de análisis susceptibles de asignarles valor y poder transferir su propiedad, reduciendo el espectro de análisis a variables meramente económicas y a la lógica del valor monetario. El inconveniente de esta visión tradicional de entender la economía, además, en adición a la forma de razonamiento económico sobre la naturaleza, es que se desestima los procesos de degradación del medio físico en el que se desarrollan las actividades sociales y económicas, en otras palabras, que desconoce que toda creación o transformación que genera valor económico, conlleva una pérdida tanto física como económica, en el lugar donde se producen, debido a que la creación de bienes y servicios comporta la transformación y/o destrucción de los recursos naturales (estado físico de los ecosistemas, los recursos y el medio ambiente) que no queda registrada en el cómputo del PIB. La repercusión de este hecho ha sido, precisamente, el constante incremento de bienes físicos, del consumo de materiales y de los residuos, así como del menoscabo del capital natural, derivados tanto de los procesos de

producción como de consumo (Carpintero, 2005; Dittrich & Bringezu, 2010; Jiménez, 1992, 2002, 2008; Krausmann et al., 2009; OCDE, 2008a; Roca, 2008).

En contraste a esta forma de entender la naturaleza y su relación con la economía han surgido nuevas corrientes teóricas que vincula la actividad económica como un subsistema dentro de un sistema (abierto) superior y global “Biosfera”, por lo que se condiciona o supedita el subsistema económico dentro de los límites físicos del planeta (Daly, Schütze, Beck, & Dahl, 1997; Jiménez, 2008) y, por lo tanto, se reconoce la imposibilidad de un crecimiento económico exponencial e infinito (Aguado, Echebarría, & Barrutia, 2009). Este referente teórico lo conforma la economía ecológica y el desarrollo sostenible, y desde esta perspectiva se trasciende en la definición y relación de la naturaleza con la economía, por un lado, se reconoce que su degradación no sólo genera una pérdida económica sino también en el stock natural y en las condiciones de vida presente y futura (Bifani, 1999; Carpintero & Naredo, 2004; Naredo, 2004b, 2006a), convirtiéndose su conservación en un objetivo primordial³³, y por otro lado, redefine en un contexto sistémico la relación entre medioambiente y economía como la sostenibilidad de los procesos sociales, ecológicos y económicos que permiten hacer compatible la actividad económica con los límites de la biosfera, es decir, que supedita la actividad económica a los condicionantes físicos en función de la capacidad de absorción y regeneración del planeta. De esta forma se da un salto de visión y se trasciende en el pensamiento económico al pasar de una racionalidad economicista unidimensional que vincula a la naturaleza dentro del proceso económico como simple proveedor de bienes y servicios ambientales, a una visión multidimensional (y ecocéntrica) de interdependencia que posibilita el desarrollo de la actividad humana dentro de límites físicos, es decir, desde la conservación y protección de dichos bienes y servicios.

Desde este planteamiento la economía ecológica plantea el equilibrio en la relación entre economía y biosfera (Martinez-Alier, 2006; Martinez-Alier, Kallis, Veuthey, Walter, & Temper, 2010), así como la ruptura del supuesto de sustituibilidad perfecta entre capital natural y capital físico, reconociéndose una relación de complementariedad entre las dos formas de capital (Ramos, 2005). Además, centra su atención en el proceso de transformación de los recursos en lugar del proceso de intercambio, apoyándose en aportaciones de otras disciplinas como la termodinámico (entropía) de Nicholas Georgescu-Roegen, la ecología política (sistemas ecológicos/metabolismo) de Grinevald, Gorz y Lipietz, la biomímesis (imitación de la

³³ i.e. la Biocapacidad de carga, regeneración y resiliencia de la biosfera.

naturaleza/organismos vivos) de Jorge Riechmann y los límites del crecimiento del Club de Roma «D. Meadows et al.»³⁴ y la influencia de otros autores como Daly, Naredo y Boulding entre otros.

Por otra parte, en este cambio de lógica en la forma de vincular la naturaleza uno de los referentes principales lo constituye el informe “Nuestro Futuro Común” de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo CMMAD, (1987), también conocido como “Informe Brundtland”, en el que se acuña por primera vez el término desarrollo sostenible, definiéndolo como... *“Aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones”*. Desde este referente se relaciona la capacidad de un sistema físico para mantener su productividad frente a perturbaciones externas derivadas de la acción humana (Jiménez, 2008, p. 100), esto es, la capacidad que tiene un sistema natural de regeneración y absorción frente a la tasa de utilización del mismo (resiliencia y capacidad de carga). A partir de este marco de referencia el Desarrollo Sostenible adopta una visión ecocéntrica (interacción hombre/biosfera, entendiendo al hombre como parte de la misma), articulando de esta manera el sistema de razonamiento económico —cerrado— con el sistema de razonamiento ecológico —abierto— (Naredo, 2006a). En línea con estas premisas, los fines se orientan hacia la transformación de los estilos de producción y consumo, y la reconversión y ajuste del crecimiento económico dentro de los límites físicos del planeta para mantener la capacidad del mismo de sostener y reproducir la vida.

Por otra parte, el planteamiento teórico y metodológico se desvincula del análisis tradicional de la economía, puesto que el interés no se centra en la estimación de medidas monetarias —de bienes apropiables, valorables y productibles (Aguilera & Alcántar, 1994; Naredo, 2004b)— ni en el análisis de los procesos económicos desvinculados de los sistemas físicos en los que se originan y sustentan sino en el análisis sistémico de las interrelaciones hombre/biosfera. Las herramientas utilizadas desde este referente teórico son compartidas con la economía ecológica y van desde el análisis de la triple sostenibilidad (económica, ecológica y social), así como del seguimiento de indicadores de sostenibilidad fuerte y sostenibilidad débil, el análisis

³⁴ Cabe apuntar que estas contribuciones se alimentan de precursores de origen no económico como Podolinsky (que realizó las primeras aportaciones sobre el análisis energético en la agricultura y desarrolló concepto de rendimiento energético), Geddes (que consideró el evolucionismo social y trató la economía como subsistema de un sistema físico-químico y biológico más amplio), Soddy (enfaticó sobre el carácter enraizado de la economía en la física —además expuso que las deudas financieras crecían exponencialmente (a un interés compuesto), a diferencia de la economía real que se basaba en reservas no renovables de combustibles fósiles que no podían ser utilizados de nuevo.

del flujo de materiales y la desmaterialización entre otras³⁵. No obstante, la noción de desarrollo sostenible ha sido cuestionada desde posturas posdesarrollistas y la propia acepción oficial del término ha sido considerada por varios autores como una definición genérica y ambigua³⁶, de la cual ha surgido una gran cantidad de interpretaciones del concepto de desarrollo sostenible; según Bermejo (2010) existen más de trescientas definiciones explicativas que son el resultado de visiones e ideologías diferentes y contrapuestas, además, según Rist (2002) y Latouche (2008), el concepto mismo de *desarrollo* encierra una ambigüedad al descansar sobre la premisa de mantener el crecimiento material, lo cual es incompatible con los principios de la sostenibilidad.

1.2.1.3. Del concepto de Desarrollo al de Desarrollo Sostenible

El desarrollo como campo de estudio en la economía es relativamente reciente, aunque autores como Lewis (1988) y Sen (1988) entre otros, ubican históricamente en el siglo XVIII el inicio del estudio de las cuestiones relativas al desarrollo. Estos autores consideran que las aportaciones de economistas como William Petty y Adam Smith (y la escuela clásica en general), se pueden valorar como precursoras de la teoría del desarrollo (Arthur Lewis, 1988; Sen, 1988). La introducción del análisis cuantitativo, así como el interés por el estudio del ingreso nacional y del nivel de vida, por parte de Petty y, el interés de Smith por el estudio de la formación y acumulación de la riqueza, como se aprecia en su obra³⁷ “Una investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones”, encierran cuestiones que han sido tratadas desde mediados del siglo pasado hasta el presente por la economía del desarrollo, como los factores que inciden en la mejora de las condiciones de vida; elemento que hace parte integral del concepto de desarrollo (Sen, 1988, p. 11).

³⁵ Operativamente se utiliza un conjunto de indicadores de medida del bienestar y la sostenibilidad ambiental que van más allá de la cuantificación del PIB. Entre los indicadores más utilizados están: la huella ecológica, la huella de carbono, la huella hídrica, el índice de progreso genuino, el índice de desempeño ambiental, el ahorro neto ajustado, contabilidad del flujo de materiales e indicador integrado FPEIR (Fuerza motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta). Para profundizar en la explicación y revisión de estos indicadores se recomienda consultar el documento de trabajo “Retos para la Sostenibilidad: Camino a Río+20” del Observatorio de la Sostenibilidad en España OSE, (2012).

³⁶ Según Daly y Bermejo el concepto de desarrollo sostenible ha sido ampliamente aceptado por su carácter genérico que le permite permear una gran cantidad de áreas de conocimiento, y dimensiones físicas y humanas, además, otros como Arribas, Arias, Riechmann, Pearce y Bárcena sostienen que el concepto es ambiguo en cuanto al carácter de las necesidades y la noción de la tecnología contenidos en la definición, lo que termina haciendo del “concepto” un concepto polémico.

³⁷ El titular original en inglés de la obra es *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* publicado en 1776.

No obstante, el referente histórico principal o punto de partida del término desarrollo, se presentó a principios de 1949 con el “punto IV” del discurso presidencial de Harry S. Truman, en el que señalaba *la necesidad de ayudar a las regiones insuficientemente desarrolladas* (Rist, 2002). Este discurso suscitó un hito y el surgimiento de varias teorías del desarrollo, que en su génesis, como afirma Gutiérrez (2007):

Delimitaron como su campo de estudio las transformaciones de las estructuras económicas de las sociedades en el mediano y largo plazos, así como las restricciones específicas que bloquean dichos cambios estructurales en las sociedades denominadas: países subdesarrollados, dependientes, periféricos, o emergentes, entre otras acepciones. (p. 22)

De acuerdo a esta delimitación del objeto de estudio, las primeras contribuciones teóricas (y conceptualizaciones del término) dentro de la economía del desarrollo, experimentaron varias transformaciones: el término “desarrollo” fue asociado en sus orígenes a un automatismo y proceso lineal que desplazaban por inercia desde un estado de atraso a otro avanzado, tanto el crecimiento económico como la modernización de la economía; se consideró posteriormente como un resultado de la estructura del orden global y de la dualidad entre subsistemas dentro de un sistema mundial interconectado e interdependiente; aproximaciones recientes lo comprenden como un fenómeno multidimensional relacionado con principios y valores que permite al ser humano realizarse y ampliar sus oportunidades; y en la actualidad es asumido como un proceso de coevaluación e interrelaciones entre las posibilidades materiales de satisfacer las necesidades presentes y futuras, y la capacidad del medio natural para sostenerlas. Estas interpretaciones del concepto han surgido a la luz de enfoques y teorías que han tratado de dar explicación sobre las razones que permiten alcanzar o no un determinado estado de desarrollo, como las teorías de la modernización, el estructuralismo y la dependencia, y los enfoques de las necesidades básicas, las capacidades humanas y el desarrollo sostenible entre otros (Ramírez, 2008).

La aparición de un nuevo sujeto político caracterizado por las áreas insuficientemente desarrolladas comúnmente denominado Tercer Mundo (Rist, 2002), llamó la atención de los que pueden ser considerados los Pioneros del Desarrollo (Meier & Seers, 1986), quienes consideraron que la existencia de rasgos característicos propios de los países atrasados los diferenciaban de los países ricos, y por tanto debían ser estudiados desde un marco analítico

propio³⁸. Pensamiento contrario al *establishment* a mediados del siglo pasado, que consideraba que el análisis neoclásico tradicional era válido para estudiar tanto los problemas de los países de renta baja como los problemas de los países de renta alta, es decir, que no hay diferencias en el funcionamiento de la economía entre países subdesarrollados y desarrollados, como sostienen Meier por un lado, y Shultz por otro (citados en Bustelo, 1999), para Meier (...) las leyes de la lógica [económicas] son las mismas en Malawi que en cualquier otro sitio, y para Shultz (...) la teoría económica convencional es tan aplicable a los problemas de escasez a los que deben enfrentarse los países de bajos ingresos como a los problemas correspondientes de los países de renta alta (Bustelo, 1999, p. 20).

No obstante a la diferenciación de la economía del desarrollo del análisis económico convencional, las corrientes teóricas dentro de este campo de estudio fueron a su vez, diversas y en ocasiones contrarias, además, las visiones más recientes han desplazado su objeto de estudio. El primer cuerpo teórico (o paradigma) intentó dar una explicación dentro de la lógica del análisis económico ortodoxo, así el paradigma de la Modernización asoció el concepto de desarrollo con el aumento de la renta, es decir, con el sostenimiento a largo plazo del crecimiento económico, como refiere Ramírez (2008):

El concepto de desarrollo económico se equipara con el de crecimiento económico: desarrollarse es crecer, crecer cada vez más, producir cada vez más; a mayor crecimiento económico correspondería un mayor grado de desarrollo, expresado en términos de producto per cápita (Ramírez, 2008, p. 38).

Posteriormente surgieron paradigmas heterodoxos que ofrecieron una explicación alternativa dentro de una lógica propia de funcionamiento de los países atrasados, tales como el Estructuralismo y la Dependencia, para los cuales las causas del atraso no eran cuestiones de grado o de nivel sino de estructura. Para el paradigma del estructuralismo el tipo de inserción en la economía mundial definía los rasgos de la estructura productiva, en la cual se origina los obstáculos para lograr el desarrollo, de forma tal que el concepto de desarrollo se asociaba al tipo de estructural mundial en el que los países se dividían en dos polos *centro y periferia*, según su posición en la economía mundial y la especificidad de su configuración económica, a

³⁸ Entre los pioneros destacados en los inicios de la economía del desarrollo se encuentran: Paul Rosenstein-Rodan, William Arthur Lewis, Gunnar Myrdal, Albert Otto Hirschman, Walter Whitman Rostow, Hans W. Singer y Raúl Prebisch entre otros.

su vez, “ligados en una relación macroeconómica: el deterioro de los términos de intercambio” (Gutiérrez, 2007, p. 24).

Por su parte, para el paradigma de la Dependencia el desarrollo no corresponde a un estado superior que se alcanza superando fases previas desde una posición de subdesarrollo, sino que es el resultado histórico y estructural heredado del colonialismo y el imperialismo, así la estructura mundial se divide en *Norte* desarrollado y *Sur* subdesarrollado (Bustelo, 1999; Gutiérrez, 2007). Posteriormente han surgido otras visiones y enfoques del concepto de desarrollo que cuestionan la lógica de funcionamiento de la economía global y ofrecen una explicación de sus causas fuera del análisis convencional, como es el caso del Neoestructuralismo, las Necesidades Básicas y el Desarrollo Humano entre otros, hasta llegar en la actualidad a nociones como las del Desarrollo Sostenible y el Post-desarrollo. El cuadro 2, presenta una síntesis de las distintas corrientes teóricas de la economía del desarrollo mostrando la evolución del concepto hasta el surgimiento del desarrollo sostenible.

En este marco de nuevos enfoques alternativos que cuestionan la lógica de funcionamiento de la economía convencional se encuentra el desarrollo sostenible, que entre sus planteamientos objeta el modelo de desarrollo e industrialización de las sociedades actuales por los efectos adversos e impactos en el ecosistema global biosfera (Gutiérrez, 2007), aunque cabe mencionar que su surgimiento como referente teórico (y concepto) es relativamente reciente dentro de los estudios del desarrollo, sin embargo, los planteamientos que cuestionan la sobreexplotación de los recursos y la degradación del medio ambiente, cuenta con antecedentes que tienen un amplio recorrido, que van desde concepciones previas como el “Ecodesarrollo”³⁹, pasando por Conferencias de Naciones Unidas⁴⁰, hasta informes influyentes como «Los límites del crecimiento» del Club de Roma (1972) y el informe Brundtland (1987)⁴¹,

³⁹ El término Ecodesarrollo fue propuesto por el director ejecutivo del PNUMA, Maurice Strong en 1973, y posteriormente fue difundido por Ignacy Sachs; planteaba la incorporación de la racionalidad ecológica en la planificación del desarrollo –dimensión ambiental del desarrollo- (Jiménez, 2008; Ramírez, 2008).

⁴⁰ Como la Conferencia de Estocolmo sobre Medio Ambiente Humano en 1972, y las Conferencias de Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible (Conferencia de Río 92 –conocida como Cumbre de la Tierra– en Río de Janeiro en 1992, Conferencia de Río +5 en Nueva York en 1997, conferencia de Río +10 en Johannesburgo en 2002 y conferencia de Río +20 en Río de Janeiro en 2012.

⁴¹ El primero informe del Club de Roma titulado *The Limits of the Growth*, publicado en 1972 retomó los planteamientos de Boulding sobre la inviabilidad del crecimiento económico indefinido en un mundo físico con límites, sin embargo, esta publicación tuvo un mayor impacto y repercusión a nivel mundial. El informe fue elaborado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts por encargo del Club de Roma, y fue dirigido por Dennis L. Meadows. El informe Brundtland, conocido así por ser realizado bajo la dirección de la primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland, es el principal referente en la conceptualización del desarrollo sostenible y abrió el inicio de este nuevo referente. La publicación del

de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo entre otros (OSE, 2011), así como de otras publicaciones previas reivindicativas desde posturas ecológico-ambientales, entre las que se encuentran, *Silent Spring* de Rachel Carson publicado en 1962, donde se resalta los efectos perjudiciales sobre el medio ambiente por uso indiscriminado de pesticidas (Garza, 2009), y *The economics of the coming spaceship earth* de Kenneth Boulding publicado en 1966, en el que se utiliza la metáfora de la nave espacial Tierra para enfatizar en los límites del planeta, tanto en la disponibilidad de recursos naturales como en la capacidad de asimilación de residuos (Rodríguez, 2012). Todos estos antecedentes constituyeron el preludio de lo que posteriormente constituiría el desarrollo sostenible como referente teórico, el cual parte del esfuerzo por articular el sistema de razonamiento económico cerrado con el sistema de razonamiento ecológico abierto (Luis M. Jiménez, 2008), permitiendo abordar el estudio del desarrollo desde otras dimensiones distintas al economicismo, integrando el valor ecológico y social de los bienes y servicios de la naturaleza.

informe se realizó en 1987 por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), con el título de *Our Common Future* (Nuestro Futuro Común en español). El informe además, acuñó y definió por primera vez el término desarrollo sostenible, que se configuró como la acepción oficial del término.

Cuadro 2. Evolución del Concepto de Desarrollo

ENFOQUE / CORRIENTE TEÓRICA	CONCEPTO DE DESARROLLO	PRINCIPALES REPRESENTANTES	PLANTEAMIENTOS
Teoría de la modernización	Desarrollo interpretado como crecimiento económico. La industrialización a través de la acumulación de capital y la expansión de la inversión superan los círculos viciosos de la pobreza y producen las condiciones del "despegue" como primera fase de un proceso de crecimiento económico lineal y autosostenido.	Paul Rosenstein-Rodan, Rangar Nurkse, William Arthur Lewis, Gunnar Myrdal, Albert Otto Hirschman, Walter Whitman Rostow y Harvey Leibenstein.	La "estrategia desarrollista natural es la Industrialización" como resultado de la modernización del aparato productivo, a través de fórmulas como el gran impulso –Big Push– (Rosenstein-rodan), el crecimiento por etapas –favorecer las condiciones del despegue– (Rostow), el crecimiento equilibrado (Nurkse y Rosenstein-rodan), el crecimiento desequilibrado (Hirschman) y el mínimo esfuerzo crítico capaz de sostener el crecimiento (Leibenstein), entre otras.
Teoría del estructuralismo	El desarrollo es el producto del tipo de inserción en la economía mundial y de los rasgos de la estructura productiva interna, lo cual, está estrechamente relacionado con la división internacional del trabajo.	Raúl Prebisch, Hans Singer, José Medina Echeverría, Anibal Pinto y Osvaldo Sunkel.	Lograr un estado mayor de desarrollo a través de cambios en las estructuras sociales y económicas que conduzcan a la industrialización por sustitución de importaciones, el fomento del ahorro y la inversión internos, el desarrollo de una política de exportación más dinámica y modificar los patrones de inserción en la economía mundial. Se resalta el papel de la industria como motor del aparato productivo y generador de excedentes para crear efectos de arrastre entre otros sectores.
Teoría de la dependencia	El desarrollo se entiende como un proceso de evolución interno que debe estar aislado de la influencia de la expansión del capitalismo en el marco de la economía mundial, es decir, que la autonomía nacional constituye la fuerza motriz del crecimiento económico y la disminución de las desigualdades. Este proceso requiere la eliminación de la dependencia externa, de manera que promueva formas nacionales y populares de organización social de la producción.	Paul Baran, Pierre Salama, Fernando Henrique Cardoso, Celso Furtado, Samir Amin y Theotonio Dos Santos.	El atraso económico de los países se explica por las relaciones de dominación en la economía mundial, por lo que el subdesarrollo es entendido como la consecuencia inevitable del proceso histórico de desarrollo capitalista. Las relaciones asimétricas a través de las relaciones comerciales, la transferencia de tecnología y los mercados financieros, favorecieron el paso de una dependencia política a una dependencia económica en donde la estructura mundial se reordenó en centro, periferia y la aparición de la simiperiferia, está última utilizada para explicar la aparición de nuevos países industrializados que seguían en el subdesarrollo (México, Taiwan y Corea del Sur entre otros).
El Neoestructuralismo	Retoma la noción estructuralista de desarrollo como resultado del tipo de inserción en la economía mundial aunque a través de canales distintos a la relación de los términos de intercambio, canales que también reproducen el subdesarrollo.	Fernando Fajnzylber, Ricardo Bielschowsky, Armando di Filipo, Gustavo Zuleta, Osvaldo Sunkel,	Los obstáculos estructurales –internos y externos– generan problemas como estructuras productivas deficientes, excesiva deuda externa, desempleo, inflación y desequilibrios fiscales, que impiden el desarrollo. Las relaciones comerciales deterioran la situación de las periferias a través de la influencia del comercio intraindustrial en relación al intersectorial a escala mundial, dinamizado por las empresas transnacionales.
Enfoque de las Necesidades Básicas	Mejorar las condiciones de vida (necesidades básicas) de las poblaciones más vulnerables, posibilitando la oportunidad de vivir una vida plena	Paul Streeten, Amartya Sen, Manfred Max Neeff, Louis Emmerij, Johan Vicent	El crecimiento de la producción no reduce por sí misma la pobreza y la desigualdad, y por tanto no mejora <i>per se</i> las condiciones de vida de la población. El centro de análisis es el individuo y las necesidades, a las que

		Galtung, Frances Stewart, Ian Gough, Len Doyal y	se enfrenta con independencia de las causas que las originan.
PNUD y el Desarrollo Humano	Continúa con la visión del enfoque de las Necesidades Básicas, resaltando el cambio de perspectiva desde el eje del <i>tener</i> al eje del <i>ser</i> , es decir, desde la visión del desarrollo material como ampliación de las capacidades productivas hacia la visión del desarrollo humano como una ampliación de las opciones, oportunidades y libertades de las personas.	Amartya Sen, Mahbub Ul-Haq, Sudhir Anand, PNUD.	Visión integral del desarrollo que supera la comprensión economicista y reduccionista de la economía, y enmarca el proceso de desarrollo en la ampliación de las libertades individuales. Se involucran dimensiones como la social, política y cultural para superar la visión tradicional de la medición del desarrollo a través del indicador convencional del ingreso (PIB per cápita) que es un indicador estrictamente económico que por su metodología oculta las desigualdades sociales.
Consenso de Washington	Políticas de ajuste y estabilización de los mercados, de fomento del potencial productivo y de consolidación de la liberalización de la economía, como objetivo de desarrollo, entendido nuevamente como aumento de la renta (crecimiento económico).	Anne Osborn Krueger, Jagdish Natwarlal Bhagwati, Deepak Lal, Ian M. Little, Jacob Viner, Peter T. Bauer, Gottfried von Haberler y Theodore Schultz.	Contrarrevolución neoclásica: la interacción entre oferta y demanda (mercados) genera dinamismo y crecimiento económicos, posibilitando el empleo y el bienestar. El mecanismo de los precios es eficiente y suficiente para mantener en equilibrio los mercados, este principio es particularmente válido en todas las regiones geográficas del planeta sin importar las características históricas, sociales o institucionales propias de cada región, por tanto la intervención del estado no es deseable.
Desarrollo Endógeno	Adhiere el “territorio” como nuevo agente o unidad de desarrollo, es decir, que las áreas geográficas y las empresas emplazadas en ellas son las fuerzas generadoras del proceso de desarrollo, puesto que los rasgos, valores, identidad, diversidad, sistemas innovadores y flexibilidad territoriales son las fuentes de transformación social de los procesos productivos.	Antonio Vázquez Barquero, Gioacchino Garafoli, Walter Stöhr, Francisco Albuquerque, Sergio Boisier, José Arocena	Las grandes empresas (agentes económicos) físicamente instaladas en un lugar geográfico (territorio), realizan procesos de acumulación de capital, ahorro e inversión, así como procesos de producción para consumo interno o externo y articulan procesos de innovación y cambio técnico, incentivando un tejido industrial dinamizador del desarrollo, por lo que, la estructura de desarrollo es originada en la base “región” y difuminada progresivamente hasta los niveles superiores (país). Las empresas y el territorio son las unidades básicas de análisis.
Desarrollo Sostenible	Se concibe el desarrollo como la satisfacción de necesidades en el presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Bajo esta concepción la actividad humana requiere reestructurarse de forma tal que no trasgreda los límites físicos del planeta.	Herman Daly, José Manuel Narerdo, Jorge Riechmann, Luis M. Jiménez Herrero.	Se reconoce la existencia de una crisis ecológica global que requiere modificaciones y reinterpretaciones en la relación del hombre con la naturaleza. Coevaluación de subsistemas en un marco de uso eficiente de materia y energía con enfoque de equidad intergeneracional. Imposibilidad de crecer exponencial e indefinidamente en un planeta con recursos finitos.
Postdesarrollo y Decrecimiento	Abandono de la premisa del desarrollo para establecer el ideario de relaciones de <i>buen vivir</i> , en lugar de vivir bien, como una propuesta alternativa al desarrollo.	Arturo Escobar, Sergio Latouche, Carlos Taibo, Vincent Cheynet, Martínez-Alier, Mauro Bonaiuti	Crítica al <i>statu quo</i> del pensamiento ortodoxo y renuncia a la noción del desarrollo impuesta por occidente. El desarrollo ya no es el principio central organizador de la vida social. Descolonización del pensamiento único y la idolatría al crecimiento económico y el desarrollo.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de Aguada (2007); Gutiérrez (2007); Ramírez (2008).

El desarrollo sostenible definido en el informe Brundtland como...“aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones” (CNUMAD, 1987), pone de manifiesto la satisfacción de las necesidades esenciales, y la influencia de la organización social y el estado de la tecnología en la capacidad del medio ambiente para responder a dichas necesidades presente y futuras (Rist, 2002), además, implica una relación íntima y de mutua interdependencia entre el sistema natural y el desarrollo, en la que el sistema natural constituye la base de todo progreso y bienestar social, proporcionando los recursos para ello, mientras que el crecimiento económico proporciona los medios para la conservación y uso racional (y eficiente) de dicho sistema natural, de forma tal que los cambios y adaptación de la organización productiva y de las instituciones permitan compatibilizar la satisfacción de las necesidades presentes y futuras con las restricciones físicas de la biosfera (Bifani, 1999).

El eje central en esta relación de beneficio mutuo descansa en la concepción de la sostenibilidad, entendida desde la perspectiva ambiental como “la capacidad de un sistema para mantener su productividad frente a las perturbaciones” (Jiménez, 2008, p. 100), es decir, que lo esencialmente sostenible es el sistema natural sobre el que se articulan las actividades económicas y sociales (Costanza & Patten, 1995), lo cual está ligado a la noción de resiliencia y de conservación del capital natural, definido como “un stock que produce un flujo de bienes o servicios valiosos (útiles) en el futuro (Costanza & Daly, 1992), y que es estrictamente diferenciado y complementario del capital producido por el hombre, es decir, que no es sustituible un tipo de capital por otro para mantener un determinado nivel de capital total, por lo que su conservación se hace indispensable para el sostenimiento y reproducción de la vida (Naredo, 2006a). De otro lado, el grado o intensidad con que se utiliza el capital natural condiciona distintos niveles de sostenibilidad: sostenibilidad débil o sostenibilidad fuerte (Aronson, Blignaut, Milton, & Clewell, 2006; Ayres, 2007; Brand, 2009; de Groot, Wilson, & Boumans, 2002; Farley & Daly, 2006; Gómez Baggethun & de Groot, 2007; Hinterberger, Luks, & Schmidt-Bleek, 1997). En este sentido el desarrollo sostenible plantea una ruptura con la forma de ser y estar en el planeta, retomando una nueva concepción y relación con la naturaleza, de forma tal que sea posible la realización y satisfacción de las necesidades de las personas sin menoscabo de los recursos de la biosfera, conservando un sentido de equidad intergeneracional.

1.2.2. El metabolismo social y la desmaterialización de la economía

Desde una visión transdisciplinar el estudio de las interrelaciones entre la economía y la naturaleza puede ser entendido como un organismo en evolución, que requiere de inputs (materia y energía) y que genera outputs (Residuos) para su sostenimiento en el tiempo. Este es el planteamiento de los economistas que entienden el proceso económico en términos de *metabolismo*, término introducido por Fischer-Kowalski, Ayres y Lipietz como metabolismo social, metabolismo industrial o ecología política (Carpintero, 2003; Martínez-Alier et al., 2010; Parra, 2012; Vallejo et al., 2011).

Utilizando la acepción de metabolismo social, Carpintero (2003) se refiere a este como: “...un proceso donde —al igual que los organismos vivos que ingieren energía y alimentos para mantenerse y permitir su crecimiento y reproducción— la economía convierte materias primas, energía y trabajo en bienes finales de consumo —más o menos duradero—, infraestructuras y residuos.

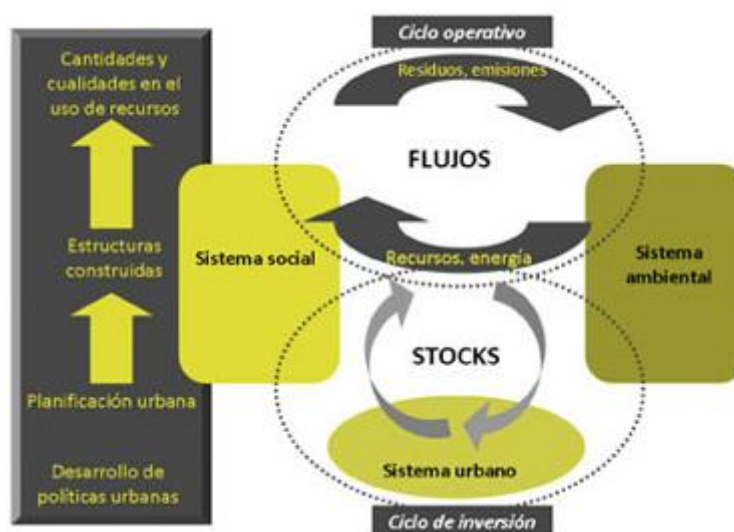


Figura 5. Metabolismo social.

Nota. Adaptado de “Ecosistemas Urbanos.” por Barrios, (2012), Revista Ambiente, 98, p. 1.

La relación que subyace en el concepto de metabolismo es la de reducir o hacer un uso eficiente de los flujos físicos, desde el medio natural hacia la esfera socioeconómica, minimizando las salidas (residuos y emisiones) procurando así, la conservación de los stock del medio natural, tanto en cantidad como en calidad. La figura 5, ilustra esta conceptualización

de las relaciones de retroalimentación entre economía y naturaleza dentro del enfoque del metabolismo social.

Si bien esta conceptualización del metabolismo social es aceptada desde la economía ecológica, el desarrollo sostenible, la sostenibilidad y el análisis del flujo de materiales, por aportar operativamente una visión del estado en el que se encuentra dicha relación entre el sistema socioeconómico y el sistema natural, otras formas complementarias que permiten medir, cuantificar y analizar de forma dinámica, en qué grado la actividad humana trasciende el sistema natural, es el análisis del flujo de materiales, y el enfoque de la desmaterialización y el desacoplamiento, que se describen a continuación.

1.2.2.1. Análisis del flujo de materiales

El marco teórico y conceptual en el que se delimitan la economía ecológica y el desarrollo sostenible requiere de instrumentos que permitan la conmensurabilidad de los sistemas biofísicos y socioeconómicos para identificar no sólo el estado de los recursos sino también, el grado de avance en términos de sostenibilidad. El Análisis del Flujo de Materiales —AFM— (o *Material Flow Analysis —MFA— en inglés*), es una herramienta analítica que contribuye a este fin y permite evaluar el estado de los recursos (cambios de stock) y el grado de colonización de los procesos naturales (Haberl, Fischer-Kowalski, Krausmann, Weisz, & Winiwarter, 2004). El principio conceptual que rige su enfoque metodológico, según Pérez (2006a) es... “un modelo de interrelaciones entre economía y medioambiente en el que la economía constituye un subsistema de un sistema más amplio *Biosfera*, en el que esta insertado y es dependiente de un flujo constante de materia y energía”, es decir, que en este marco analítico el subsistema económico está regido por las leyes de la naturaleza y es dependiente —y sensible— respecto al equilibrio natural al tener un estrecho vínculo entre los recursos (materiales), que son extraídos de la naturaleza para su procesamiento y consumo en el sistema económico y, los residuos y contaminantes que son devueltos a la misma⁴², lo que puede interpretarse como un balance de materiales.

⁴² Conceptualmente el término Análisis del Flujo de Materiales guarda una relación cercana con algunas contribuciones realizadas desde la termodinámica, la biología, la ecología política y la economía ecológica, que se sintetizan en la noción de “metabolismo industrial, metabolismo social o metabolismo económico”, conceptos utilizados por Ayres (1989), Fisher-Kowalski y Hüttler (1998a) y Carpintero (2005); que engloban la noción de materiales extraídos de la naturaleza que conforman *inputs* que son

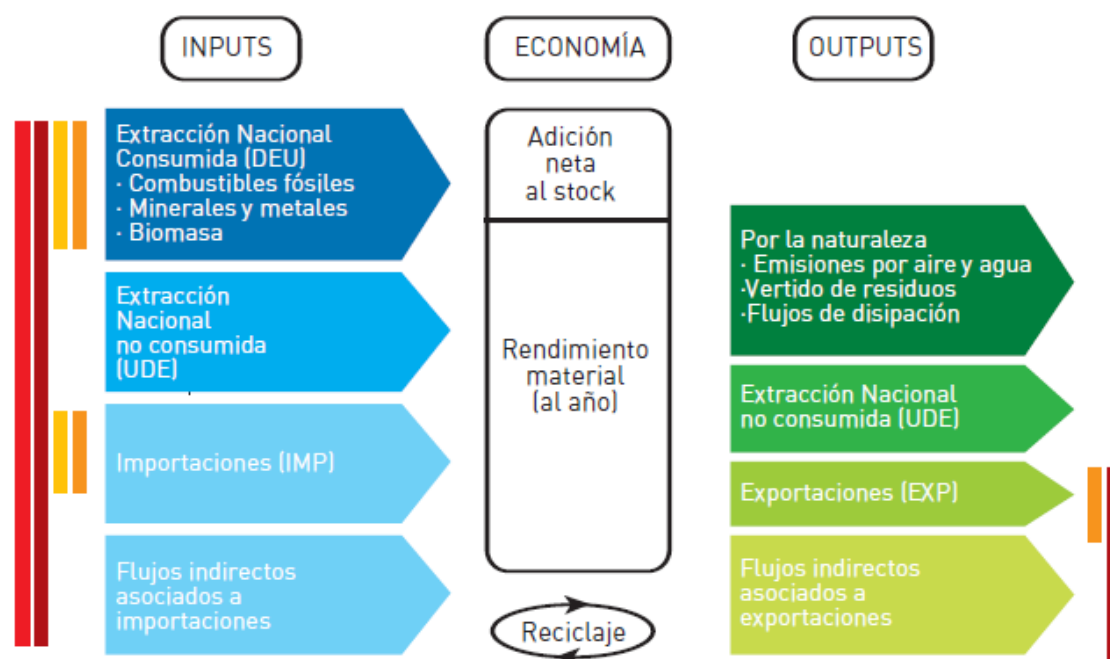


Figura 6. Contabilidad del Flujo de Materiales.

Nota. Adaptado de Retos para la Sostenibilidad: Camino a Río+20. Por Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2011, p. 180.

Por otra parte, el AFM permite la elaboración de varios indicadores físicos que describen el rendimiento material y la adición al stock de materiales. De esta manera se puede valorar el consumo de materiales como la biomasa, los combustibles fósiles, los minerales metálicos y no metálicos, entre otros (Carpintero & Naredo, 2004). Asimismo, permite la construcción de indicadores que ayudan a identificar la presión ambiental ejercida por la actividad humana, y el grado de agotamiento y uso de los recursos naturales. Esta contabilización biofísica se lleva a cabo a través de la identificación de dos categorías *inputs* y *outputs*⁴³, en las que se computan los materiales y energía que se extraen del medio natural y que son procesados por el sistema económico, que posteriormente, una parte es acumulada como stock socioeconómico mientras otra es liberada al medio natural en forma de residuos y energía degradada (Espinoza & Cabero, 2006). Esta clasificación metodológica entre inputs y outputs, responde a la distinción entre entradas y salidas de materiales y energía de un sistema de referencia⁴⁴, y a su vez se subdividen en varios niveles. Los inputs están conformados por la extracción nacional y las importaciones de materiales, y se clasifican según su naturaleza (propiedades físicas

transformados, usados y retransferidos nuevamente a la naturaleza en forma de residuos y energía no aprovechable *outputs*.

⁴³ Los inputs y outputs se presentan en unidades físicas (normalmente en kilotoneladas)

⁴⁴ Un sistema de referencia puede estar constituido por un continente, país, región o territorio, área geográfica o cualquier otro espacio ambiental en el que se quiera observar el flujo de materiales y energía derivado de la actividad humana.

comunes) en biomasa, combustibles fósiles, metales, y minerales industriales y de construcción. Mientras que los outputs corresponden a las exportaciones de materiales y los residuos retornados al medio ambiente (Arto, 2003; Eurostat, 2001; INE, 2010). El Cuadro 3, presenta la clasificación de los inputs y outputs.

Cuadro 3. Clasificación definiciones de Inputs y outputs en el AFM

Inputs de Materiales	Inputs Directos	Extracción doméstica utilizada (EDU)	Flujos de materiales que entran directamente en la economía para su utilización en el proceso productivo
		Importaciones (IM)	Flujos de materiales importados que entran al territorio nacional para ser destinados al proceso productivo
	Inputs Indirectos	Extracción doméstica no utilizada (EDNU)	Flujos de materiales que han sido extraídos del medio natural, pero que no entran directamente en la economía por no tener un valor económico.
		Flujos indirectos asociados a las importaciones (FOI)	Flujos de materiales importados que entran al territorio nacional pero no son destinados al proceso productivo
Outputs de Materiales	Output doméstico procesado (ODP)	Emisiones	Flujos de materiales que han sido transformados y degradados después de ser usados en el sistema económico y que son desechados o liberados al medio ambiente
		Residuos	
	Exportaciones (EX)	Vertidos	Flujos de materiales exportados a otras economías para ser destinado al proceso productivo
		Disipación de contaminantes	
	Exportaciones (EX)	Directas	Flujos de materiales exportados a otras economías para ser destinado al proceso productivo
		Flujos indirectos asociados a las exportaciones	Flujos de materiales exportados que no son destinados al proceso productivo
	Output Total de Materiales (OTP)	Suma de ODP y las exportaciones	Flujo total de materiales liberados en el territorio nacional y exportados a otras economías

Nota. Elaborado por el Autor a partir de INE (2010); Eurostat (2007) y Arto (2003).

La ventaja de esta forma de clasificación es que permite identificar la intensidad con la que son extraídos los materiales así como la cuantificación de los residuos liberados, tanto de origen directo (interno) como de origen indirecto (externo). Esta última distinción es de especial relevancia, puesto que conviene analizar de forma separada, tanto los materiales que entran directamente en la economía como los que no lo hacen (denominados flujos indirectos, ocultos o mochila ecológica), es decir, los que son extraídos y utilizados en la economía y los

que son extraídos pero no entran en la economía, debido a que generan impactos diferentes sobre el medio natural; los primeros *inputs directos* como por ejemplo la extracción de minerales, generan una disminución en su stock, mientras que los segundos *inputs indirectos* como por ejemplo la remoción y desplazamiento de tierras para acceder a un yacimiento de minerales o las pérdidas, fugas o residuos generados en su extracción o procesamiento generan otro tipo de impactos ambientales Arto (2003). Asimismo, se puede desprender de esta distinción, la interdependencia de una economía con el resto del mundo, dado que al vincular las relaciones de intercambio material (importaciones y exportaciones de materiales), se puede identificar el peso que tiene su comercio internacional y de esta manera su impacto a transfronteriza (INE, 2010).

Esta investigación utiliza la metodología del AFM en la construcción de los capítulos tres y cuatro, y sigue los lineamientos de Eurostat (Comisión Europea) para la construcción de la Matriz del Flujo de Materiales descritos en el documento de trabajo *Economy—wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide*, publicado en 2001⁴⁵. Con esta metodología se aborda el objeto de estudio desde el metabolismo social (análisis del flujo de materiales y sus indicadores asociados).

1.2.2.2. Desmaterialización y desacoplamiento

La desmaterialización de la economía plantea un marco teórico en el que se concilia el sistema económico con el sistema ecológico, es decir, que se desvincula el agotamiento de recursos naturales del crecimiento económico (Bolla, Lock, & Popova, 2011), además, el PNUMA (2011) asocia el desacoplamiento como indicador del grado de convergencia hacia la sostenibilidad al afirmar que:

En su sentido más simple, desacoplar significa disminuir la cantidad de recursos tales como agua o combustibles fósiles que se utilizan para producir el desarrollo económico, y desacoplar el desarrollo económico del deterioro del medio ambiente. (p. 4)

Estos planteamientos exponen la premisa de mantener el crecimiento económico al mismo tiempo que se disminuyen el consumo de recursos y los impactos ambientales (conservar o

⁴⁵ Disponible en <http://bookshop.europa.eu/es/economy-wide-material-flow-accounts-and-balances-methodological-pbKS3400536/>

mejorar el bienestar social, disminuyendo el impacto ambiental), asimismo, revela que el mecanismo de transmisión por el que se cumple esta premisa es la ecoinnovación y el cambio en las tendencias de producción y consumo.

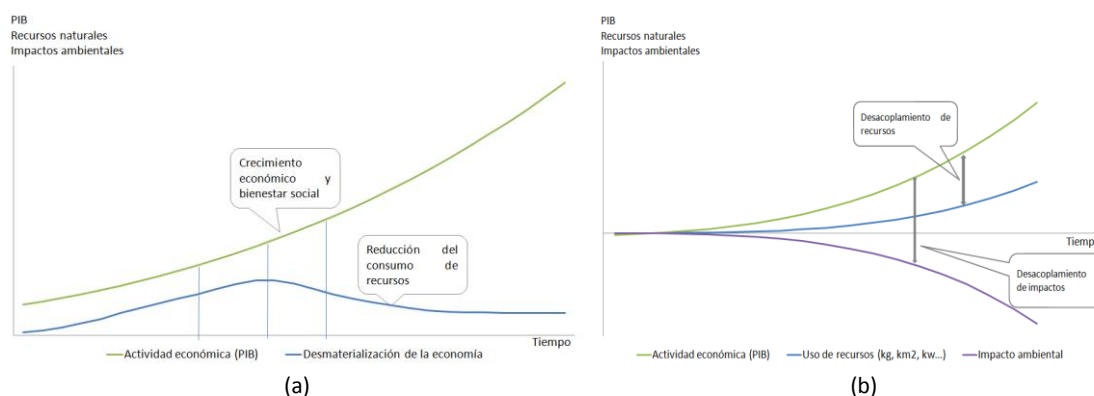


Figura 7. Desmaterialización y desacoplamiento de la economía.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de PNUMA, 2011, p.8.

La figura 7, refleja el comportamiento teórico de desvinculación de los recursos naturales e impactos ambientales de la actividad económica. De acuerdo a este planteamiento la lógica que subyace es la de reducir la cantidad de materiales consumidos en una economía mientras se mantiene (o incluso se incrementa) el bienestar de la sociedad, de modo que la reducción del consumo de recursos naturales conlleve a una generación menor de residuos (contaminación), y por tanto a una reducción de los impactos ambientales: menor uso de materiales significa menor carga ambiental (de Bruyn, Potjer, Schwencke, & van Soest, 2003), es decir, una mayor de los recursos —ecoeficiencia— (EIA, 2011; PNUMA, 2010). Sin embargo, este planteamiento es criticado por algunos autores que consideran que la desmaterialización no se presenta de modo real sino que en los casos en los que existe (principalmente países desarrollados), se debe a una relocalización de los procesos productivos intensivos en recursos naturales (Muradian & Martinez-Alier, 2001; Naredo, 2004b); y/o altamente contaminantes, como es el caso de las industrias extractivas y algunos procesos industriales. Ante esta situación lo que se tiene es una desmaterialización relativa en el norte y una rematerialización en el sur (Carpintero, 2005; Naredo, 2006a; M. Pérez, 2003, 2006a), generando un intercambio biofísico desigual (Martinez-Alier, 2006).

1.2.2.3. La ecoinnovación y ecoeficiencia como instrumentos de cambio

La idea de incrementar el rendimiento en la producción utilizando menos insumos está vinculada a conceptos como tecnología, innovación y cambio técnico, los cuales han sido objeto de estudio en la economía y han tenido un largo recorrido en la literatura económica dado el papel relevante que se les ha otorgado en la explicación de los factores que incrementan la producción y sostienen el crecimiento en el largo plazo. Las contribuciones de Schumpeter, Solow y Dosi entre otros autores, resaltan ese hecho. Así, la innovación⁴⁶ definida como la aplicación de conocimientos en actividades que dan origen a nuevos productos, medios de producción o usos alternativos de los recursos (Kamien & Schwartz, 1989), se ha reconocido como un pilar fundamental en la competitividad empresarial, la productividad, el desarrollo y el crecimiento económico (Olaya, 2008). Estos argumentos de beneficios asociados a la disminución de costos y el aumento de la productividad (Miret, Segarra, & Peiró, 2011; Segarra, Miret, & Albors, 2011) han sido retomados desde una perspectiva ambiental, en especial desde el surgimiento de posturas críticas con la idea de mantener un crecimiento económico ilimitado en un mundo con recursos finitos (Boulding, 1966; Daly, 1973; Daly & Townsend, 1996; Georgescu-Roegen, 1996; Meadows, Randers, Meadows, & Pawlowsky, 2006). El eje sobre el que se ha adoptado (y aceptado) la innovación desde otra postura no economicista, es el de su nexo con el planteamiento de aumentar la eficiencia en el uso de los recursos naturales reduciendo a la vez los impactos ambientales, dicho de otra forma, llevar a la práctica procesos de minimización de energía, materias primas y contaminantes por unidad de producción; postulados propios del desarrollo sostenible, la economía ecológica o la desmaterialización, que a su vez se sintetizan en el concepto de la sostenibilidad ambiental.

Este punto de encuentro entre la innovación y la sostenibilidad ambiental ha dado lugar a una creciente utilización de adjetivos como "eco", "ambiental", "verde" o "sostenible" en relación al término innovación (Franceschini & Pansera, 2015; Rennings, 2000), para resaltar su importancia en el ideal de transformación del sistema económico (modo de producir y consumir) a través de la vinculación de los bienes y servicios ambientales en el proceso económico sin menoscabo de la conservación y calidad de los mismos. En este sentido la literatura sobre ecoinnovación ha presentado diversas definiciones del término que persiguen la misma finalidad aunque de forma distinta en su operacionalidad; Claude Fussler y Peter

⁴⁶ Según Caravaca, González, García, Fernández, y Mendoza (2014) la innovación entendida como la aplicación del conocimiento tiene una doble connotación: *i*) como el análisis de su influencia en los comportamientos empresariales, es decir, el carácter relevante del conocimiento en las relaciones sociales de producción y, *ii*) como proceso innovador más complejo al no tener carácter individual sino colectivo y estar vinculado a las sociedades, las instituciones y los territorios. La primera le otorga un sentido micro mientras la segunda uno macro, abarcando de esta forma la totalidad de las relaciones económicas.

James (1996), acuñaron el término *Ecoinnovación* por primera vez en 1996⁴⁷ y un año después James (1997) definió la ecoinnovación⁴⁸ como "nuevos productos y procesos que proporcionan valor a clientes y negocios, pero disminuyen significativamente los impactos ambientales" (p. 52). No obstante, a partir de esta definición ha proliferado el número de definiciones sobre ecoinnovación. A continuación el cuadro 8, presenta algunas de las definiciones más relevantes encontradas en la literatura especializada.

Cuadro 4. Definiciones de Ecoinnovación

Definición	Fuente
Ecoinnovación es la creación de una novedad competitiva en la producción de bienes, servicios, sistemas y procedimientos, diseñados para satisfacer las necesidades humanas y proporcionar una mejor calidad de vida, con un mínimo uso de los recursos naturales (tanto materiales como energéticos) por unidad de producción en todo el ciclo de vida y un vertido mínimo de sustancias tóxicas.	Technopolis group (2008a, 2008b). SYSTEMATIC Innovation Panel on ecoinnovation. Final report for sectoral innovation watch.
Ecoinnovación es cualquier forma de innovación que persiga un avance significativo y demostrable respecto al objetivo del desarrollo sostenible, a través de la reducción de los impactos sobre el medio ambiente y el logro de un uso más eficiente y responsable de los recursos, incluida la energía.	Comisión Europea (2006). Programa Marco para la Competitividad y la Innovación (2007-2013) (The Competitiveness and Innovation Framework Programme, CIP)
Ecoinnovación es la producción, la asimilación o la explotación de un producto, proceso de producción, servicio o método de gestión o de negocio que es una novedad en la organización (desarrollada o adoptada) y que implica, a lo largo de su ciclo de vida, una reducción de los riesgos ambientales, la contaminación y otros impactos negativos del uso de recursos (incluyendo la energía) en comparación con las correspondientes alternativas.	Kemp & Pearson (2007). Final report MEI project about measuring eco-innovation
Ecoinnovación es la creación de nuevos, o significativamente mejorados, productos (bienes o servicios), procesos, métodos de marketing, estructuras organizacionales o acuerdos institucionales, los cuales (intencionadamente o no) producen mejoras ambientales comparadas con sus alternativas relevantes.	OCDE (2008). Sustainable manufacturing and eco-innovation: First steps in building a common analytical framework.
Ecoinnovación son todas las tecnologías y servicios que contribuyen a un mejor entorno.	Comisión Europea (2004): Developing an Action Plan for Environmental Technology. (ETAP).
Ecoinnovación es un cambio en las actividades económicas que supone una mejora tanto en la actuación económica como ambiental para la sociedad.	Huppes, Kleijn, Huele, Ekins, Shaw, Schaltegger & Esders (2008): Measuring Eco-Innovation: Framework And Typology Of Indicators Based On Causal Chains. Final Report Of The Ecodrive Project.

Nota. Elaboración del Autor con base en Miret-Pastor, Segarra, Pieró-Singer (2011) y Kemp (2010).

Por otra parte, Kemp propone una clasificación o taxonomía de la ecoinnovación que permite identificar desde la innovación en cambios tecnológicos hasta los sistemas de innovación. Esta

⁴⁷ Según René Kemp, aunque los autores acuñan el término eco-innovation (ecoinnovación en español), en el título de su obra "Driving eco-innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability", no se desarrolla el contenido del término en ninguno de los apartados del libro.

⁴⁸ Para contar con una ampliación del contenido del término ecoinnovación, véase el artículo "The sustainability cycle: a new tool for product development and design" de Peter James, publicado en "The Journal of Sustainable Product Design" (2), 52-57. Disponible en <http://www.cfsd.org.uk/journal/archive/index.html>.

tipología se compone de cuatro categorías: tecnologías ambientales, innovación organizacional, innovación en productos y servicios, y sistemas de innovación verde (Kemp, 2010). Las dos primeras se refieren primordialmente a cambios tecnológicos, mientras que las dos siguientes se refieren esencialmente a nuevos métodos y sistemas de gestión, es decir, que no tienen un carácter tecnológico aunque si progresivo. Esta clasificación se relaciona en gran medida con la propuesta analítica sobre innovación de la OCED y Eurostat reflejada en el manual de Oslo y complementada por Charter y Clark (2007) quienes consideran una clasificación de la ecoinnovación dividida en cuatro niveles: incremental, rediseño, funcional o alternativas de producto, y sistémica. Asimismo Rennings (2000), y Reid & Miedziński (2008a) consideran que la ecoinnovación no debe limitarse a la innovación en productos, procesos, métodos de comercialización y métodos de organización, sino que también debe incluir la innovación en las estructuras sociales e institucionales, puesto que los beneficios de la ecoinnovación no son exclusivos del agente innovador que la realiza sino que, como sugiere Machiba, afectan “el contexto social más amplio a través de cambios en las normas sociales, los valores culturales y las estructuras institucionales” (Machiba, 2010, p. 360).

Machiba presenta de forma gráfica la síntesis del marco analítico contemplando tres dimensiones (objetivos, mecanismos e impactos) de la ecoinnovación, diferenciado de esta forma la finalidad de cada innovación, así como el mecanismo por el que actúa y el tipo de impacto que logra (añadiendo información acerca del canal —tecnológico o institucional— que predomina). La figura 8, presenta la propuesta de marco analítico sintetizada por Machiba.

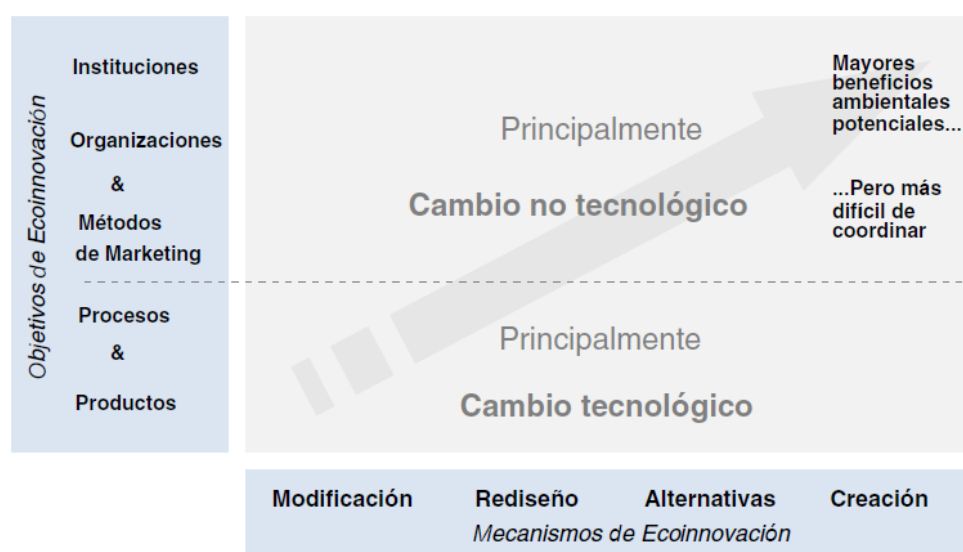


Figura 8. Síntesis de Marco Analítico de Ecoinnovación.

Nota. Adaptado de “Eco-innovation for enabling resource efficiency and green growth: development of an analytical framework and preliminary analysis of industry and policy practices.” por T. Machiba, 2010, International Economics & Economic Policy, 7(2/3), p. 361.

En síntesis estas dimensiones hacen que el concepto de ecoinnovación sea más amplio e integral abordando desde pequeñas modificaciones a la implementación de complejos sistemas, y desde una influencia particular en un colectivo de individuos hasta una influencia global en las sociedades. Por otra parte, aunque esto es válido para las innovaciones originadas desde una conciencia ambiental, no todas las innovaciones pueden entenderse de esta forma. Para Franceschini y Pansera el desarrollo de las innovaciones se origina desde distintas ópticas no necesariamente asociadas al ámbito ambiental (o de la sostenibilidad); estas pueden surgir como respuesta a objetivos concretos de los agentes innovadores como reducción de costos o mejora de la eficiencia en la producción, que a la vez puede tener efectos colaterales positivos en términos ambientales, lo cual limita en algunos casos el alcance de las ecoinnovaciones, relacionándose de esta forma con procesos de sostenibilidad débil⁴⁹. La figura 9, muestra la evolución de la innovación y los posibles estados de la economía, permitiendo identificar desde la aparición de innovaciones orientadas hacia el mercado, hasta las innovaciones orientadas estrictamente hacia los fines de la sostenibilidad ambiental.

De esta manera se aprecia un primer escenario en el que el paradigma tecnológico (innovación) no considera explícitamente la sostenibilidad ambiental, por el contrario, se orienta específicamente hacia el crecimiento económico, en línea con esto Franceschini y Pansera (2015) afirman que:

“la sostenibilidad del medio ambiente no se considera explícitamente. En este caso, la innovación no se supone "ser verde". Esta narrativa encuentra su legitimación en el marco de la sostenibilidad débil: siempre y cuando el capital natural se convierte eficientemente en capital construido, el sistema es considerado como sostenible.” (p. 72).

No obstante, al tener presente como marco de referencia la sostenibilidad fuerte, la innovación, haya sido concebida en su creación con un propósito ambiental o no, toma el carácter de ecoinnovación⁵⁰ y su impacto en el medio ambiente será mayor o menor conforme a los lineamientos en la esfera económica⁵¹.

⁴⁹ Por el contrario cuando las innovaciones surgen puntualmente como respuesta de mejora ambiental, se relacionan estrechamente con la sostenibilidad fuerte.

⁵⁰ Kemp (2010) refiere que una innovación puede ser considerada ambiental (o ecoinnovación) aunque no haya sido creada con este propósito específicamente, pues, al cumplir con el postulado de disminuir los impactos ambientales como consecuencia de su implementación, está actuando en un sentido

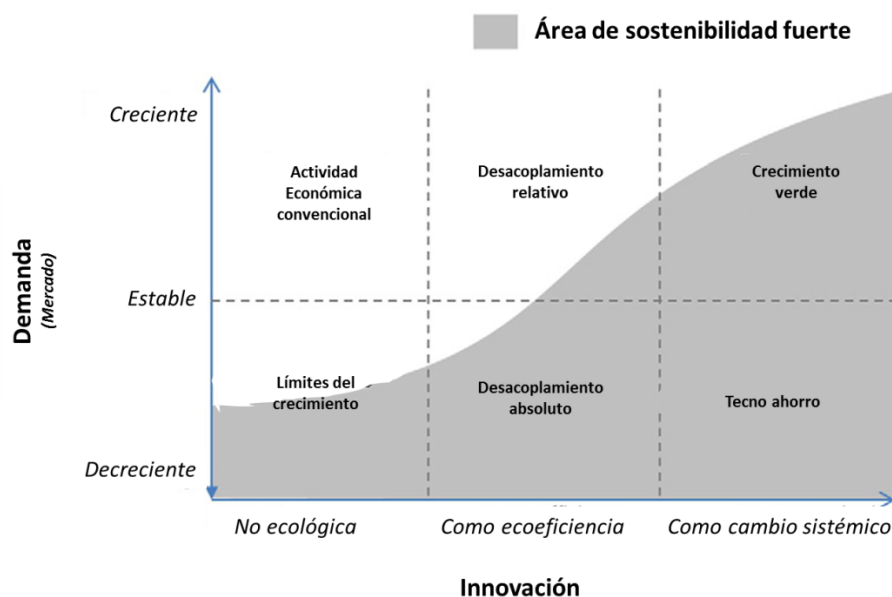


Figura 9. Enfoques de la Ecoinnovación.

Nota. Adaptado de "Beyond unsustainable eco-innovation: The role of narratives in the evolution of the lighting sector" por S. Franceschini y M. Pantera, 2015, *Technological Forecasting & Social Change*, 92, p. 72.

Conforme a la evolución de la estructura económica, y el mecanismo de ecoinnovación desarrollado, se podrá lograr resultados más favorables desde la perspectiva de las sostenibilidad fuerte. De esta forma el grado (y forma) de vinculación de la ecoinnovación en los objetivos de la sostenibilidad podría clasificarse en tres corrientes en la que la literatura especializada ha enmarcado su contribución y alcance: *i)* límites al crecimiento, *ii)* desacoplamiento absoluto y *iii)* tecno ahorro, (Franceschini & Pantera, 2015). Así en la figura 9, los tres cuadrantes inferiores representan tres estados superiores de sostenibilidad fuerte (capital natural no es sustituible por el capital construido por el hombre), en los que la ecoinnovación tiene un papel central.

ecológico y por tanto puede ser considerada como una ecoinnovación, aunque su propósito inicial no haya sido ese. Machiba (2010) también afirma que el concepto de ecoinnovación implica tanto las innovaciones motivadas en lo ambiental como las que no tiene esta motivación pero que generan un efecto secundario ambiental positivo como consecuencia de su objetivo inicial, de modo que se considera ecoinnovación a toda innovación que genere una reducción del impacto ambiental así este efecto se pretenda o no.

⁵¹ Del mismo modo el alcance del impacto ambiental también se condiciona según el nivel jerárquico del segmento en el que sea llevada a cabo la ecoinnovación dentro de la dimensión de objetivos descrita por Machiba en la figura 10.

De igual forma la noción de ecoinnovación está estrechamente vinculada a la de ecoeficiencia, aunque se debe matizar la diferencia. Según el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible⁵²:

La eco-eficiencia se logra mediante la entrega de bienes y servicios a precios competitivos que satisfacen las necesidades humanas y brinden calidad de vida, mientras se reducen progresivamente los impactos ecológicos y la intensidad de los recursos a lo largo del ciclo de vida a un nivel al menos en línea con la capacidad de carga estimada de la Tierra. (Verfaillie & Bidwell, 2000, p. 7)

Mientras que la idea de ecoinnovación se deriva de una evolución progresiva del modo de producción basado en el principio del progreso técnico y que tiene como efecto final reducir el impacto ambiental, la idea de ecoeficiencia⁵³ refleja un estado o comportamiento derivado del menor uso de recursos. En definitiva, la idea subyacente en la ecoeficiencia, al igual que en la ecoinnovación, es desvincular del crecimiento económico la presión ambiental (*crear más valor con menos impacto*) (Hupples & Ishikawa, 2005a, 2005b).

Pese a que el término ecoeficiencia se relaciona con la idea de disociar la actividad económica del medio ambiente, y del uso relativamente reciente del mismo término, la noción de relacionar (o correlacionar) el desarrollo económico con la reducción de los impactos ambientales no es un concepto nuevo; la introducción de este planteamiento se remonta a principios de 1970 con la Identidad IPAT⁵⁴ de Ehrlich y Holdren, y posteriormente con estudios ambientales como Factor 4 y Factor 10 (Ehrenfeld, 2005). Sin embargo, es desde principios de la década de 1990 donde se extendió la importancia de este planteamiento y la literatura científica y académica se profundizó en este campo dando origen como se mencionó antes, al

⁵² Según autores como Verfaillie & Bidwell (2000), Ehrenfeld (2005), El Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible o *World Business Council for Sustainable Development -WBCSD* por su sigla en inglés-, propuso por primera vez en 1992 la definición de ecoeficiencia en el documento *Changing Course: A global business perspective on development and the environment*, y posteriormente, en el año 2000 lo popularizó en el documento “measuring eco-efficiency a guide to reporting company performance” (Camarero, 2013).

⁵³ Otras definiciones relevantes en la literatura sobre ecoeficiencia son las de DeSimone & Popoff (2000), que definen el término como “actividades que crean valor económico a la vez que reducen continuamente el impacto ecológico y el uso de los recursos naturales” y la definición de Camarero, Castillo, Picazo-Tadeo, & Tamarit (2013) donde se define como “la capacidad de las empresas, industrias, regiones o economías para producir más bienes y servicios con menos impactos en el medio ambiente y menos consumo de recursos naturales.

⁵⁴ La Identidad IPAT es una relación entre el impacto ambiental (I) y la población (P), la riqueza (A) y la tecnología (T) (Holdren & Ehrlich, 1972).

concepto de ecoeficiencia, que se ha vinculado con mayor frecuencia a diversos campos de la actividad humana. En este sentido Ehrenfeld (2005) expone como se ha popularizado y extendido el término en la esfera pública, en la gestión del medio ambiente, en la sostenibilidad corporativa, en la industria ecológica y la producción más limpia, además explica que ha sido entendido como una herramienta de apoyo a la sostenibilidad por contribuir a la satisfacción de las necesidades de la población actual, conservando los recursos para el beneficio de las generaciones futuras. No obstante, Ehrenfeld reconoce que este enfoque de la ecoeficiencia relaciona sólo dos dimensiones (medio ambiente y economía) de los tres pilares del desarrollo sostenible, por lo que se le resta importancia a factores como la equidad y otros aspectos sociales, a lo que se debe sumar la crítica de Latouche (2008), Naredo (2006a) y Rist (2002), sobre el hecho de ponderar en exceso el progreso tecnológico como pilar conciliador entre una actividad económica (material) creciente y la conservación del medio ambiente.

De otro lado operativamente la ecoeficiencia se interpreta como el cociente entre dos términos que caracterizan la dimensión económica y la ecológica para relacionar el valor de un producto o servicio con su influencia ambiental (Hartley, 2009), de esta forma se presentan dos variantes que son equivalentes para expresar cuantitativamente la ecoeficiencia, de un aparte, la relación entre “valor económico” e impacto ambiental que se asocia a la *productividad ambiental* y a la *intensidad ambiental* y, de otra parte, la relación entre “costo económico” e impacto ambiental que se asocia con el *costo de mejora ambiental* y con la *rentabilidad ambiental* (Hupples & Ishikawa, 2005a). El Cuadro 5, presenta estas relaciones. La columna dos refleja el concepto de ecoeficiencia en términos de la relación entre valor económico e impacto ambiental y su inversa, es decir, la relación entre impacto ambiental y valor económico. Estas relaciones son las que se han utilizado predominantemente para cuantificar la ecoeficiencia y desde el enfoque del metabolismo social o del análisis del flujo de materiales, se utilizan para describir la productividad de materiales y la intensidad de materiales⁵⁵

⁵⁵ Desde el punto de vista energético se utilizan para describir la productividad (o intensidad) energética.

Cuadro 5. Tipología básica de ecoeficiencia según Huppes e Ishikawa

	Producto o producción primaria	Mejora ambiental primaria
Economía dividido por el Medio Ambiente	Valor de la producción por unidad de impacto ambiental, o <i>productividad ambiental</i> . (Valor económico ^a /Impacto ambiental ^b)	Costo por unidad de mejoramiento del medio ambiente o <i>coste de mejora ambiental</i> . (costo económico/impacto ambiental)
Medio Ambiente dividido por la Economía	Impacto ambiental por unidad de valor de la producción, o <i>intensidad ambiental</i> . (Impacto ambiental/Valor económico)	Mejora ambiental por unidad de costo, o <i>rentabilidad ambiental</i> . (impacto ambiental/ costo económico)

Nota. Adaptado de “Eco—efficiency and Its Terminology” por G. Huppes y M Ishikawade, 2005, *Journal of Industrial Ecology*, 9/4, p. 45.

^a El valor económico se relaciona normalmente con una medida de bienestar o progreso material; comúnmente se Producto Interno Bruto en la ecuación. ^b Es una medida que representa el estado o calidad del medioambiente en términos de contaminación, la medida comúnmente utilizada son las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) aunque de forma genérica se puede utilizar cualquier contaminante.

La columna tres refleja el enfoque de la ecoeficiencia en términos de costos e impacto ambiental, que según Huppes e Ishikawa (2005a) no es utilizado de forma amplia como el primero. En síntesis la ecoeficiencia sirve como indicador para medir la premisa de producir más con menos, correspondiéndose con uno de los fundamentos del desarrollo sostenible, por lo que ha sido un concepto recogido dentro de este referente (e incluso desde el crecimiento verde). Siguiendo autores como Hoh, Schoer, & Seibel (2002), Helminen (2000), Dahlström (2005), Ekins (2005), Koskela & Vehmas (2012), y Sivickas & Streimikiene (2008), operativamente la ecoeficiencia se expresa como la división de dos medidas:

$$E = \frac{RE}{RA} \quad (1)$$

Donde:

E: ecoeficiencia

RE: es una medida del rendimiento económico, normalmente se utiliza el PIB

RA: es una medida del rendimiento ambiental, normalmente se una medida agregada que refleje la presión ambiental, como por ejemplo, las emisiones de CO₂

La ecuación (1) refleja una medida de ecoeficiencia en términos de productividad ambiental, es decir, que expresa el rendimiento económico (dimensión económica) por unidad de medida de la dimensión ambiente en un lapso de tiempo de terminado, por lo que al contar con series históricas extensas, el indicador “E”, permite analizar la eficiencia en la gestión de los recursos (o impactos) ambientales.

1.3. ESTADO DEL ARTE

Para la construcción de este apartado se realizó un análisis de literatura de las principales referencias y autores en cada temática. Las fuente y bases de datos consultadas para la selección, clasificación y análisis de la literatura fueron las siguientes.

Cuadro 6. Bases de Datos consultadas

Operador	Base de Datos
EBSCO	Academic Search Premier
EBSCO	Fuente Académica
EBSCO	Business Source Complete
EBSCO	GreenFILE
ebrary	e-libro
Elsevier	Scopus
Elsevier	ScienceDirect
FAPESP CNPq BIREME/OPS/OMS FapUnifesp	SciELO
Fundación Dialnet – Uni. de la Rioja	Dialnet
John Wiley & Sons, Inc.	WILEY
JSTOR	JSTOR. Journal
National Bureau of Economic Research (NBER)	NBER
OECD	OECD. Journa
ProQuest	ABI/INFORM
Springer International Publishing AG	SpringerLink

Nota. Elaborado por el Autor.

1.3.1. Recursos naturales energéticos, crecimiento económico y desarrollo. Revisión crítica de la teoría y la evidencia empírica

En este apartado se presenta una descripción de la evolución y estado actual del debate académico y la investigación científica sobre los recursos naturales energéticos (petróleo, gas natural y carbón) y su relación con el crecimiento económico, el desarrollo, el metabolismo socioeconómico, y la ecoinnovación y ecoeficiencia, así como su relación con los estudios de energía y desarrollo, el agotamiento de recursos⁵⁶ y la calidad ambiental⁵⁷. Además, se presentan los principales resultados de investigación tanto en la esfera internacional como en el caso particular de Colombia.

⁵⁶ Para exponer el estado de la investigación en este punto se optó por hacer una revisión de la bibliografía sobre la Curva de Hubbert, por lo que en este apartado se presentan los resultados de investigación relacionados con la Curva de Hubbert (pico del petróleo).

⁵⁷ Dado que en la literatura se presentan distintos enfoques para estudiar la calidad ambiental, en esta apartado se optó por seguir la literatura relacionada con la Curva Ambiental de Kuznets (CAK).

1.3.1.1. Recursos naturales y crecimiento económico

El estudio del crecimiento económico ha ocupado un elevado protagonismo en la economía debido a que es considerado como un indicador del bienestar de la población (Boarini, Johansson, & d'Ercole, 2006, p. 6), es decir, que un aumento en el ingreso real de los individuos es entendido como una mejora de sus posibilidades de consumo, y por tanto, de su calidad de vida. En este sentido la teoría convencional ha presentado varios modelos que plantean algunos factores considerados como determinantes que incentivan al alza el ritmo de crecimiento, tales como el ahorro y la inversión, o tasa de ahorro y productividad de los factores, Solow (1956, 1957) y Koopmans (1963); la expansión demográfica, Birdsall, Kelley & Sinding (2001); y el capital humano, Romer (1990), Aghion & Howitt (1998), entre otros. Se entiende desde estos planteamientos que un aumento o mejora en la eficiencia de la utilización de estos inputs conduce a un incremento en la producción, y por tanto, sostienen el crecimiento económico en el largo plazo⁵⁸.

Adicional a lo anterior desde finales del siglo pasado una derivación de la literatura económica ha introducido en el análisis económico los recursos naturales como parte de los inputs expresados en términos de “Capital”, esto es, como *Capital Natural*⁵⁹, con el fin de explicar como incide esta forma de capita entre los factores que afrectan el crecimiento económico. Esta inclusion de los recursos naturales como factor explicativo acompañada de la formalización teórica de la sustituibilidad entre factores de producción (considerada incluso como sustitución perfecta entre capital natural y capital físico en los modelos neoliberales),

⁵⁸ Aunque la concepción de sintetizar las condiciones de calidad de vida y resumir las múltiples dimensiones cualitativas que este concepto implica, puede ser discutible debido a las contradicciones y alcance limitado de una visión cuantitativa como la del crecimiento económico medido a través del incremento en la producción agregada -PIB- (Jiménez, 1999, 2008; Latouche, 2007, 2008; Martinez-Alier et al., 2010; Naredo, 2004a, 2006b), se omite esta discusión para revisar la noción de un mejoramiento en las condiciones generales de vida y la relación que esta tiene con el capital natural.

⁵⁹ Siguiendo la línea de exposición de autores como Carpintero, Daly, Jiménez o Naredo, el capital puede ser desagregado de la siguiente forma:

$$C_T = C_{Fis} + C_{fin} + C_{nat} \quad (2)$$

Donde:

C_T : Capital total

C_{Fis} : Capital físico

C_{fin} : Capital financiero

C_{nat} : Capital natural

Nota: desde una perspectiva ambiental el capital físico y capital financiero pueden considerarse conjuntamente como uno sólo, por lo que es referido por algunos autores como capital hecho por el hombre, para diferenciarlo del capital natural provisto por la naturaleza.

orientó a mediados del siglo pasado, con autores como Solow y Arrow entre otros, un discurso teórico a favor del productivismo del capital natural como factor complementario del sostenimiento del nivel de vida. No obstante, esta visión perdió fuerza al constatarse problemas económicos y baja capacidad de mantener niveles elevados de calidad de vida en países ricos en recursos naturales; en este sentido se encuentran aportaciones teóricas que sustentan una relación inversa entre los recursos naturales y el crecimiento económico, Auty (1993), Sachs & Warner (1995, 1999, 2001). Estas aportaciones han alimentado un debate sobre la relación entre recursos naturales y crecimiento económico, he incluso la utilización de estos recursos como principal soporte dentro de una estrategia de desarrollo; en las últimas décadas se ha generado una controversia sobre la conveniencia o ventaja de poseer una gran riqueza de recursos naturales, en especial de los recursos minero energéticos.

La existencia de países ricos en recursos naturales —especialmente con abundancia de hidrocarburos—, que han presentado un menor rendimiento económico en comparación con otros países que no poseen tal abundancia natural y crecen a un ritmo mayor, ha sido un hecho aparentemente constatado. Esto se conoce en la literatura como *la Maldición de los Recursos Naturales o la Paradoja de la Abundancia*, la cual plantea la hipótesis de que los países que centran su actividad económica en la explotación de recursos naturales debido a la gran abundancia de estos, tienden a tener menores tasas de crecimiento frente a países con escasez de recursos naturales (Sachs & Warner, 1995), y que por tanto basan su actividad económica en otro tipo de bienes (o industrias). Los trabajos pineros de Sachs & Warner (1995, 1999, 2001) dieron origen a una extensa literatura sobre la paradoja de la abundancia, los cuales se pueden clasificar según su explicación sobre los canales de transmisión por los cuales la explotación de recursos naturales termina convirtiéndose en un factor que ralentiza o afecta negativamente el crecimiento económico; profundizar en estos mecanismos de transmisión resulta relevante, puesto que, la existencia de recursos naturales (capital natural) por sí mismos no es un factor negativo para una economía, tal como afirma Morales-Torrado (2011):

Es claro que la abundancia de recursos naturales no puede generar directamente una contracción en el crecimiento. Una mayor riqueza en este tipo de bienes no reduce la eficiencia con que se combinan los factores en la producción y lo único que podría generar es un abaratamiento de los insumos, lo que va a favor y no en contra de la capacidad de creación de bienes. Por esta razón, deben existir elementos intermedios o mecanismos de transmisión más complejos a través de los cuales la riqueza de recursos naturales conduzca a menores tasas de crecimiento (p. 11).

Con relación a este punto de los canales de transmisión, se puede observar en la literatura varias posturas que sustentan la relación inversa entre recursos naturales y crecimiento económico. Estas posturas se pueden agrupar de forma convencional en dos grandes categorías: una con un fundamento netamente macroeconómico, y otra con un fundamento institucional. La primera responde a una lógica de desplazamiento (*crowding-out* en inglés), en la que la actividad en recursos naturales desplaza algunos sectores productivos o agregados económicos que son considerados en la literatura económica como determinantes del crecimiento; este desplazamiento se refleja en una desaceleración del ritmo de crecimiento. Aquí se enmarcan las explicaciones relacionadas con la enfermedad holandesa (*Dutch Disease* en inglés) y la volatilidad en los precios de los commodities, que impacta de forma directa sobre la tasa de cambio real.

La segunda postura responde a un planteamiento de economía política en el que los aspectos institucionales y la calidad de las instituciones del estado afectan el crecimiento: Partiendo del supuesto de que la capacidad de un país para aumentar su ingreso está condicionada en parte por “la eficiencia con la que se combinan los factores físicos y humanos limitados, en un contexto institucional específico” (Morales-Torrado, 2011, p. 8), se puede deducir que dicho *contexto institucional* propio de cada región o país influye directamente en la forma en que los recursos naturales se relacionan con el crecimiento económico. En esta categoría se enmarcan las explicaciones del bajo rendimiento económico relacionado con la calidad de las políticas públicas, el marco legal, los regímenes políticos, el rentismo (*rent-seeking*) o efecto devorador (*voracity effect*), la composición y concentración de las exportaciones y la desigualdad, la corrupción, el endeudamiento público excesivo y los conflictos internos (guerras).

A continuación se presenta una breve reseña sobre las principales contribuciones desde las dos categorías de mecanismos de transmisión expuestas. Cabe destacar que estas explicaciones no tienen un carácter mutuamente excluyente, por el contrario, pueden coexistir distintos canales que actúen de forma simultánea, así como también puede influir la posición y forma de inserción de los países en la economía mundial, por lo que, tanto la forma como se combinan los distintos mecanismos de transmisión, como la forma en que se relaciona un país en el entorno internacional pueden generar condiciones apropiadas o no para que la actividad económica en recursos naturales tenga una relación positiva o negativa con el crecimiento económico. Estos planteamientos así como las críticas y limitaciones de la hipótesis de la maldición de los recursos se discuten posteriormente.

El trabajo pionero sobre la temática de la maldición de los recursos naturales se encuentra en Sachs & Warner (1995), estos autores sugieren la existencia de una evidencia significativa y robusta a favor de la relación inversa entre crecimiento y recursos naturales, y explican este resultado principalmente a través del canal de transmisión de la enfermedad holandesa. Según el planteamiento de la enfermedad holandesa una bonanza de recursos naturales, ya sea por la aparición de extensas fuentes o reservas físicas de recursos naturales o alzas súbitas en sus precios, generan un flujo elevado de ingresos procedentes de la exportación de tales recursos, lo que termina derivando en una desindustrialización (y por tanto de una reducción del ritmo de crecimiento) de la economía; este deterioro de la estructura productiva y del rendimiento económico general, se produce a través de la apreciación del tipo de cambio real que ocasiona una pérdida de competitividad de las exportaciones en los sectores de bienes transables, lo cual, deprime la oferta, la inversión y el empleo en estos sectores (Corden & Neary, 1982), en los que se supone que la productividad es mayor debido a la existencia de procesos de *Learning by doing* y a una mayor utilización de capital humano. Esta reducción de la inversión y el empleo en los sectores de bienes transables es absorbida en parte por el sector de recursos naturales en auge, que se supone menos dinámico, con menor productividad y baja presencia de procesos de *Learning by doing*.

Hausman & Rigobon (2002) sugieren que además del canal de la enfermedad holandesa, en economías petroleras la volatilidad en las rentas del petróleo hace más volátiles los precios relativos de los bienes transables y no transables, lo que incrementa no sólo la volatilidad del tipo de cambio real sino que además incrementa el riesgo de inversión por un incremento en la tasa de interés. Esta inestabilidad afecta el comportamiento del gasto y la inversión en sectores transables (Hausmann & Rigobon, 2002).

Desde la perspectiva de la enfermedad holandesa, el sector en auge de recursos naturales (menos productivo y menos articulado con el tejido industrial local), “desplaza” al resto de sectores de bienes transables (articulados en el tejido industrial, competitivos y dinámicos en el crecimiento económico⁶⁰); de aquí que este fenómeno sea conocido como “efecto desplazamiento o crowding-out” (Colom, 2012). No obstante, la interpretación de la maldición

⁶⁰ Este planteamiento es modelado por Matsuyama. Según su enfoque, las economías que se especializan en la producción de bienes primarios en agua o en bienes no transables no generan la capacidad necesaria para lograr tasas de crecimiento mayores, debido a que los sectores de bienes primarios o no transables, no son dinámicos en su aporte al crecimiento, y en la incorporación de innovaciones y de capital humano (Matsuyama, 1992).

de los recursos desde la postura del efecto desplazamiento, ha suscitado una amplia controversia debido al desconocimiento del papel que tienen las “instituciones”, dentro del proceso económico de un país. Así, autores como Andersen & Aslaksen (2008), Arezki & van der Ploeg (2007), Asiedu & Lien (2010), Auty (2001), Bulte & Damania (2008; 2005), Collier & Goderis (2008), de Medeiros & dos Santos (2013) Mehlum, Moene, & Torvik (2002), Perla (2012), y van der Ploeg (2010; 2011) entre otros, demuestran desde la economía política, que la relación entre recursos naturales y crecimiento económico está estrechamente relacionada con factores institucionales y su evolución histórica. Estos autores indican que no sólo los canales económicos (efecto desplazamiento) son el único medio a través del cual la abundancia de recursos afecta negativamente el crecimiento económico, además, también advierten que la relación entre recursos naturales y crecimiento puede ser de signo positivo, por lo que los recursos naturales pueden ser una bendición en lugar de una maldición; lo cual es determinado por el marco institucional, y de aquí su relevancia tanto en la explicación en el plano teórico, como en el fortalecimiento de las instituciones en la actuación política.

Desde esta postura institucional Isham, Woolcock, Pritchett & Busby (2005) exponen que la forma en que un país maneja su riqueza en recursos naturales está condicionada por la evolución histórica de sus instituciones, y por tanto, el desenvolvimiento de las instituciones puede inferir sobre el efecto que tiene la abundancia de recursos naturales sobre el crecimiento económico. Estos autores explican que los países que se especializan en actividades extractivas de recursos naturales y tienen una baja calidad institucional, no logran desarrollar mecanismos regulatorios eficientes para contrarrestar los efectos adversos de la abundancia de recursos, por lo que la calidad institucional (la buena gobernanza) se convierte en un factor fundamental en la gestión de los recursos naturales.

Por otra parte, Collier & Godris (2009) estudian seis⁶¹ posibles canales por los cuales puede surgir una relación inversa entre recursos naturales y crecimiento económico, estos son: i) la enfermedad holandesa, ii) la gobernanza, iii) los conflictos, iv) el endeudamiento excesivo, v) la desigualdad, y vi) la volatilidad. Para analizar los canales institucionales Collier y Godris utilizan entre otras medidas, el índice de gobernabilidad (ICRG) de la *International Country Risk Guide*, y encuentran, a través de la modelación econométrica, que la relación entre recursos naturales y crecimiento es positiva en el corto plazo y negativa en el largo plazo, no obstante, los autores

⁶¹ Los autores proponen en su artículo un séptimo canal de transmisión que es la falta de educación, sin embargo, las conclusiones generales de trabajo no varían con la inclusión de este mecanismo o canal de transmisión.

afirman que tal relación puede revertirse, es decir, puede convertirse en una bendición si los países tienen -o desarrollan- instituciones sólidas que permitan una buena gobernanza (Collier & Goderis, 2009). De forma similar Mehlum, Moene, & Torvik (2006) llegan a la misma conclusión, aunque utilizan otra medida de calidad institucional: el promedio no ponderado de los cinco índices del *Political Risk Services* (estado de derecho, calidad burocrática, corrupción en el gobierno, riesgo de expropiación, y riesgo de rechazo de contratos del gobierno). Según su metodología, establecen que cuando el índice calidad institucional se acerca a cero hay un débil imperio de la ley, un alto riesgo de expropiación, un mal funcionamiento de la burocracia y alta corrupción en el gobierno; lo cual condiciona el bajo rendimiento económico.

Siguiendo con la línea argumental del efecto de la calidad institucional sobre el crecimiento, Robinson, Torvik, & Verdier (2006) desarrollan un modelo en el que estudian los incentivos políticos generados por las rentas y los auges de los recursos naturales. Argumentan cómo las rentas de recursos naturales son utilizadas de forma ineficiente, influyendo de forma negativa en la trayectoria de desarrollo de un país. Por su parte, Norman (2009) expone que los países especializados en la extracción de recursos naturales tienden a poseer peores indicadores de imperio de la ley; apoyan esta conclusión al encontrar que en doce de los trece casos analizados, el coeficiente de imperio de la ley fue negativo y significativo.

Otro mecanismo identificado en la literatura es el denominado *efecto voracidad*⁶² descrito por Tornell & Lane (1999). Estos autores estudian cómo pueden surgir incentivos perversos para una distribución desigual de la renta originada por un boom en la extracción de recursos naturales; argumentan cómo en una sociedad fragmentada surgen enfrentamientos por la captura de rentas que deriva en una lucha por el dominio de los recursos públicos, de manera que, los sectores sociales más influyentes (grupos de interés poderosos) se beneficiarían de las abundantes rentas en mayor proporción que el resto de grupos sociales, afectando de manera negativa la distribución de la renta. En este contexto una entrada súbita de recursos desde el exterior puede ocasionar un aumento más que proporcional en la redistribución de los recursos fiscales por parte del gobierno (populismo), lo cual puede frenar el crecimiento económico (Morales-Torrado, 2011).

⁶² El efecto voracidad es modelado por Tornell & Lane (1999), como un Estado fragmentado en varios grupos sociales de poder que se enfrentan para apropiarse de las rentas del Estado. El modelo describe cómo una entrada masiva de ingresos induce a un aumento más que proporcional en el gasto y la redistribución fiscal. Concluyen que en una economía donde hay grupos de poder el crecimiento económico es más lento que una economía en la que los grupos no tienen poder o actúan de manera coordinada. Una revisión y descripción del efecto voracidad se puede encontrar en (Strulik, 2012a, 2012b)

De otro lado, Engerman & Sokoloff (1997) estudian cómo se generan divisiones entre sectores sociales debido a desigualdades generadas por la forma en que están compuestas las exportaciones; los autores explican cómo una fuerte concentración de las exportaciones de recursos naturales dentro de la composición de la oferta de exportación puede modificar la estructura de las economías, la cual a su vez, conduce a una desigualdad debido al trasvase de capital físico y humano entre sectores productivos. Otros autores como Lederman y Maloney (2007), y Lederman & Xu, (2007), también estudian la relación entre concentración de exportaciones, abundancia de recursos, desigualdad y bajo rendimiento económico, llegando a conclusiones similares.

La literatura también se ha detenido en la relación entre extracción de recursos naturales, los ingresos fiscales y el endeudamiento de los gobiernos. En este sentido Ross (1999; 2001) indica que en los países con una alta concentración en sectores de extracción de recursos naturales que son muy demandados a nivel internacional, el Estado tiene una menor propensión a la recaudación tributaria, puesto que cuenta con ingresos externos continuos que cubren en buena medida sus necesidades de financiación; esto ocasiona un deterioro en la capacidad de gestión fiscal del Estado y una dependencia de las rentas externas. Este hecho puede inducir a desajustes entre ingresos y egresos del estado, debido a una reducción sostenida de los precios o una alta volatilidad de los precios de los recursos naturales, lo cual genera déficit público y un consecuente sobreendeudamiento.

Por otra parte, Arezki & van der Ploeg (2010), y van der Ploeg (2011), enfatizan en que los países con abundancia de recursos en los que su población está más fragmentada y su imperio de la ley es más débil, tienden a ser más ineficientes en la gestión del gasto público (no sólo tienen un mayor gasto sino que además gastan más rápido sus ingresos), y presentan mayor desigualdad. Los autores también encuentran que la maldición de los recursos es evitable dentro de un marco institucional fortalecido y es más factible en recursos con alta concentración geográfica como los minerales. Además, Arezki & van der Ploeg (2010), exponen que la dependencia de recursos es más relevante que la abundancia⁶³ de recursos en la explicación de la maldición de los recursos naturales, puesto que la dependencia de recursos es la que primordialmente condiciona la estructura de las exportaciones de un país y no la

⁶³ La mayoría de estudios sobre maldición de recursos naturales utilizan como medida de la abundancia de recursos el ratio entre exportaciones primarias y Producto Interno Bruto, sin embargo, está es más una medida de la dependencia (o incluso de la intensidad) de recursos, más que de abundancia de recursos (Brunnschweiler & Bulte, 2008, p. 249).

abundancia, asimismo esta dependencia predispone la utilización de las exportaciones primarias como vía de inserción en la economía mundial, delimitando la importancia económica del país en el entorno internacional (Stijns, 2005).

En cuanto a la evidencia a nivel regional se encuentra en la literatura varios estudios de caso como los trabajos de Alexeev & Conrad (2011) que estudia la presencia de una maldición de recursos en 28 economías en transición, Blanco & Grier (2012) que concentran su estudio en 17 países de América Latina, Morales-Torrado (2011) que revisa la presencia de la maldición de los recursos para una muestra de 152 países. En cuanto a la evidencia a nivel nacional se encuentran estudios como los de Al Rawashdeh & Maxwell (2013) para Jordania, Desai, Freinkman, & Goldberg (2003) para Rusia; Domenech (2008) para España; Fan, Fang, & Park (2012) para China; Larsen (2005) para noruega, Papyrakis & Gerlagh (2007) para Estados Unidos; Perry & Olivera (2012) para Colombia; Ramírez (2014) para Bolivia, y Sala-i-Martin & Subramanian (2013) para Nigeria.

Para el caso específico de Colombia se encuentran autores como Barreto, Linares & Armenta (2011), Perry & Olivera (2009; 2012) y, Sanabria & Campo (2013). Utilizando distintas metodologías y niveles de desagregación, estos autores estudian la relación entre recursos naturales y crecimiento económico llegando a conclusiones similares. El primer referente estudia la relación entre las Regalías (royalties) y el desarrollo regional. Parte del supuesto de que existen diferencias en el ritmo de crecimiento entre unidades territoriales explicadas por las rentas de explotación de los recursos naturales minero energéticos (carbón y petróleo) que reciben los territorios productores en comparación con el resto del país (Barreto et al., 2011), por lo que los autores utilizan las regalías como proxy de la abundancia de recursos para medir el impacto en el crecimiento regional. El estudio utiliza la metodología econométrica y el estimador de diferencias en diferencias (diff-in-diff) para medir el efecto del cambio en la legislación (ley 141 de 1994). El estudio concluye que no hay evidencia sobre la influencia de las regalías sobre la actividad económica local (aunque el signo de la variable bajo estudio fue el esperado -negativo- no fue significativo en ninguna de las estimaciones realizadas), es decir, que no hubo un efecto por la modificación de la Ley 141 de 1994, al menos en el período de estudio. Los autores sostienen que este resultado podría deberse a “diferentes hipótesis asociadas a la debilidad institucional, la corrupción y la búsqueda de rentas” (Barreto et al., 2011, p. 19).

Por otra parte, Perry & Olivera (2009; 2012) realizan un estudio regional por departamentos y municipios. Utilizando la metodología econométrica de datos de panel miden la relación entre recursos naturales y crecimiento, y recursos naturales y comportamiento fiscal (esfuerzo fiscal), usando como controles (canal de transmisión) varios índices de la calidad institucional, tales como la transparencia de la administración departamental y la transparencia de las contralorías departamentales de “Transparencia Internacional”, y otras medidas de la calidad de las instituciones fiscales. Concluyen que a nivel departamental existe una relación inversa entre crecimiento y recursos naturales, mientras que a nivel municipal la relación es al contrario, y el recurso natural que impacta de forma negativa en mayor medida es el petróleo.

Otro estudio relevante es el de Campo & Sanabria (2013), estos autores realizan un análisis a nivel agregado en el que analizan el efecto de algunos de los bienes primarios más representativos en las exportaciones del país como son el café, carbón, petróleo y ferroníquel. Realizan varias estimaciones a través del estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios Completamente Modificados (FMOLS) que es consistente ante la presencia de variables no estacionarias y la posible endogeneidad en el modelo (Phillips & Hansen, 1990), y aunque sus resultados apuntan a respaldar la hipótesis de la maldición de los recursos, en sus especificaciones no se utilizan variables institucionales (sólo se exploran los mecanismos de transmisión por efecto desplazamiento), lo que no permite identificar aspectos institucionales relevantes conforme a las características propias de la economía colombiana.

En síntesis a pesar de la evidencia a favor o en contra de la maldición de los recursos, esta parece ser constatada según la metodología econométrica utilizada, y las variables y especificaciones empleadas; de un lado las explicaciones basadas explícitamente en mecanismos de transmisión de efecto desplazamiento se rigen por un enfoque neoclásico limitado que adolece de la abstracción de la esfera institucional, dejando de lado aspectos institucionales relevantes que están estrechamente vinculados con el crecimiento. De otro lado, dentro las posturas institucionalistas, Brunnschweiler & Bulte (2008), afirman que debido a confusiones conceptuales⁶⁴ y la forma en que se asocian los recursos naturales y la calidad de las instituciones en los modelos, no es claro que exista una relación inversa entre el débil entorno institucional y una maldición de los recursos, además, en algunos estudios empíricos no se despejan todas las dudas acerca del problema de endogeneidad común en esta temática;

⁶⁴ Los autores distinguen entre abundancia de recursos (medida de la riqueza de recursos in situ), las rentas de los recursos (flujo de ingresos derivados de las acciones sobre los recursos), y la dependencia de recursos (grado en que los países tiene -o no- acceso a fuentes alternativas de ingresos aparte de la extracción de recursos) (Brunnschweiler & Bulte, 2008, p. 261).

la evidencia empírica sobre la maldición de los recursos no es robusto a la corrección de la naturaleza endógena de algunos regresores (Arezki & van der Ploeg, 2010), así como, las dudas sobre relaciones espurias y la existencia de causalidad circular.

1.3.1.2. Energía y desarrollo

Otro aspecto destacado en la literatura ha sido el estudio de la relación entre la energía y el desarrollo. En términos generales las contribuciones en este campo se han centrado en la relación a largo plazo entre energía (consumo de energía) y nivel de desarrollo (medido como el nivel del PIB)⁶⁵. En este sentido Toman & Jemelkova (2003) afirma que:

El desarrollo energético, interpretado ampliamente en el sentido de una mayor disponibilidad y uso de los servicios de energía, es una parte integral del desarrollo económico ampliado. Las sociedades industrializadas avanzadas utilizan más energía por unidad de producción económica y mucha más energía per cápita que las sociedades más pobres, especialmente las que permanecen en un estado pre-industrial. (p. 93)

Bajo esta percepción el punto de partida o premisa inicial en la literatura sobre energía y desarrollo ha sido considerar que el uso intensivo de la energía se ha expandido de forma aparejada con el proceso de industrialización de los países (Aranzadi et al., 2008; Barreto & Campo, 2012), de forma tal que, en términos globales, se asume que el suministro de energía debe crecer a la misma tasa que la demanda, para suplir los requerimientos de una economía en su proceso de desarrollo. Así, la literatura científica ha abarcado cuestiones relacionadas con la producción, distribución, abastecimiento, accesibilidad y disponibilidad en términos de calidad y fiabilidad del suministro, comportamiento de la oferta y la demanda, los precios y su volatilidad, así como los impactos ambientales y las cuestiones geopolíticas relacionadas con la energía (Hormaeche, 2008).

De acuerdo a este razonamiento y a la evidencia empírica, una parte de la literatura en esta temática concluye que la política energética cobra relevancia en la gestión energética y en el

⁶⁵ Asimismo dentro de esta vertiente se han derivado estudios empíricos que enfatizan en el nexo concreto entre recursos minero-energéticos, como formas de energía primaria, y el nivel de desarrollo, como los trabajos de Jin-ke, Feng-hua, & Hua-ling (2009), ente otros.

nexo entre ésta y el crecimiento económico, aunque no existe un amplio consenso en este punto, puesto que, según la metodología y los países seleccionados, los resultados varían caso a caso.

La referencia pionera en el estudio de la relación entre energía e ingreso (desarrollo) fue el trabajo de Kraft & Kraft (1978), estos autores concluyeron la existencia de una relación causal entre consumo de energía y crecimiento económico en Estados Unidos en el período 1947-1974; posteriormente la literatura en esta temática tuvo un rápido crecimiento, en el que se identifican cuatro variantes en el estudio de la relación entre energía y crecimiento, y que dan lugar a la revisión empírica de cuatro hipótesis⁶⁶ (Damette & Seghir, 2013; Ozturk, 2010; Payne, 2010).

La revisión de estas cuatro hipótesis comparte un punto en común, que es el apoyo en la metodología econométrica, específicamente en las pruebas de causalidad y de cointegración. El planteamiento parte de la especificación de una función de producción en la que se incluye como Input la energía (Huang, Hwang, & Yang, 2008; Jin-ke et al., 2009; Lee, 2005; Lee & Chang, 2008; Medlock & Soligo, 2001; Ouedraogo, 2013; Toman & Jemelkova, 2003), y se prueba la significancia del coeficiente correspondiente al uso de energía. De esta forma se parte de una función tipo Solow, en la que el factor energía es determinante del producto total, la especificación convencional que se encuentra en la literatura es:

$$Y = f(K, L, E) \quad (3)$$

Donde Y es el producto total o producto interno bruto, K es el stock de capital, L es la fuerza laboral (trabajo), y E representa el parámetro de la energía, normalmente expresado como

⁶⁶ Según el sentido de la relación causal hallada en la evidencia empírica las hipótesis que relacionan la energía con el crecimiento económico se han clasificado en cuatro grupos: i) hipótesis de la conservación, los trabajos que exploran esta hipótesis se orientan en probar una relación causal unidireccional que va desde el ingreso hacia la energía (consumo de energía), de aquí se desprende que las políticas de conservación de la energía -reducción del consumo de energía- no tienen efecto negativo sobre el crecimiento económico; ii) hipótesis del crecimiento, desde este enfoque los trabajos exploran la relación unidireccional que va de la energía al crecimiento económico; también se denomina hipótesis de la dependencia energética, aquí se sugiere que las restricciones en el uso de la energía afectan negativamente el crecimiento económico. iii) hipótesis de la retroalimentación, en estos estudios se indaga sobre la causalidad bidireccional entre consumo de energía y crecimiento económico, esto supone que las dos variables son conjuntamente causa y efecto; y iv) hipótesis de la neutralidad, aquí los estudios muestran la no existencia de una relación causal, es decir, que el uso (y política) de energía no tiene ningún efecto sobre el crecimiento económico y viceversa.

consumo de energía. Asimismo, a partir de este planteamiento se realiza el análisis econométrico basado en pruebas de causalidad de Granger, pruebas de cointegración de Johansen, y modelos VAR y VECM. No obstante, conforme a la especificación y variables incluidas, los resultados varían de un estudio a otro en el sentido de la dirección de la causalidad entre energía y crecimiento. Entre los trabajos que encuentran una relación de causalidad que va del crecimiento económico al consumo de energía (hipótesis de la conservación) se encuentran Kraft & Kraft (1978), Yu & Choi (1985), Yu & Jin (1992), Masih & Masih (1996), Cheng & Lai (1997), Glasure & Lee (1998), Soytas & Sari (2003), Paul & Bhattacharya (2004), Lee & Chang (2007). Por su parte, entre la evidencia a favor de la hipótesis del crecimiento se encuentran los trabajos de Erol & Yu (1987), Stern (1993, 2000), Soytas, Sari, & Ozdemir (2001), Lee & Chang (2005), Masih & Masih (1998), Asafu-Adjaye (2000), Fatai, Oxley & Scrimgeour (2004) y, Lee, Chang, & Chen (2008). En cuanto a la relación bidireccional, se encuentran los artículos de Morimoto & Hope (2004), Glasure & Lee (1998), Oh & Lee (2004), Masih & Masih (1997), Ghali & El-Sakka (2004), Paul & Bhattacharya (2004), Yoo (2006), Mahadevan & Asafu-Adjaye (2007). Finalmente entre los trabajos que no encuentran relación de causalidad (hipótesis de neutralidad) están Akarca & Long (1980), Yu & Hwang (1984), Altinay & Karagol (2004), Huang et al. (2008), Halicioglu (2009), Payne (2009). A continuación se presenta un cuadro resumen sobre los resultados de algunos estudios destacados sobre el nexo entre energía y crecimiento⁶⁷.

Cuadro 7. Resumen de revisión de literatura sobre causalidad entre consumo de energía y crecimiento económico.

Autor	Período	Región / Países	Metodología	Variables Utilizadas	Resultados
Kraft & Kraft (1978)	1947-1974	Estados Unidos	Causalidad de Granger	Consumo de energía y PIB	PIB→CE
Akarca & Long (1980)	1950-1970	Estados Unidos	Sim's technique		PIB---CE
Yu & Hwang (1984)	1947-1979	Estados Unidos	Causalidad de Granger	Consumo de energía y PIB	PIB---CE
Yu & Choi (1985)	1954-1976	Corea del Sur Filipinas y Tailandia			PIB---CE CE→PIB CE→PIB
Yu & Jin (1992)	1974-1990	Estados Unidos	Causalidad de Granger y Cointegración	Consumo de energía, producción industrial y empleo	PIB---CE
Stern (1993)	1947-1990	Estados Unidos	Causalidad de Granger y mGodelo vector autoregresivo (VAR)	Consumo de energía, PIB y precios	PIB↔CE
Masih & Masih (1996) ^a	1955-1990	India, Pakistán Indonesia Malasia	Modelo vector de corrección de error (VECM)	Consumo de energía, PIB, capital y empleo	CE→PIB

⁶⁷ Adicionalmente los trabajos de Ozturk (2010) y Payne (2010), presentan una descripción detallada de la evolución sobre la literatura en energía y desarrollo.

Masih & Masih (1997)	1961–1990	Singapur Filipinas Corea Taiwán	Causalidad Granger	de		PIB→CE PIB↔CE
Soytas, Sari & Ozdemir (2001)	1960–1995	Turquía	Causalidad Granger	de y	Consumo de energía y PIB	CE→PIB
Oh & Lee (2004)	1970–1999	Korea	Cointegración Causalidad Granger y modelo de corrección de error (VEC)	de	Consumo de energía y PIB	CE→PIB
Paul & Bhattacharya (2004)	1950–1996	India	Causalidad Granger	de y	Consumo de energía, PIB, FBCF y trabajo	PIB↔CE
Lee & Chang (2005)	1954–2003	Taiwan	Cointegración Johansen–Juselius, VEC		Consumo de energía, PIB, capital y trabajo	CE→PIB
Huang et al. (2008) ^b	1972–2002	Panel de 82 países de bajos, medios y altos ingresos	Panel VAR y método generalizado de momentos (GMM)	de	Consumo de energía, PIB, participación de FBCF en el PIB, población y deflactor de PIB	PIB→CE PIB---CE
Halicioglu (2009)	1960–2005	Turquía	Causalidad Granger, cointegración modelo autoregresivo y de rezago distribuido (ARDL)	de y	Emisiones de CO ₂ , consumo de energía, PIB y comercio exterior	PIB---CE
Payne (2009)	1949–2006	Estados Unidos	Causalidad Toda–Yamamoto	de	Consumo de energía, PIB, capital y trabajo	PIB---CE
Acaravci & Ozturk (2010a)	1990–2006	Panel de 15 países en transición	Cointegración en panel de Pedroni	en	Consumo de energía y PIB	PIB---CE
Shahiduzzaman & Alam (2012)	1961–2009	Australia	Cointegración, causalidad Engle–Granger y VAR	de y	Consumo de energía, PIB, capital y trabajo	PIB↔CE
Barreto & Campo (2012)	1980–2009	Panel de 12 países de Latinoamérica	Cointegración en panel de Pedroni	en	Consumo de energía, PIB, capital y trabajo	CE→PIB
Mohammadi & Parvaresh (2014)	1980–2007	Panel de 14 países exportadores de petróleo	Cointegración en datos de panel	en	Consumo de energía y PIB	PIB↔CE

Nota. Elaborado por el Autor a partir de Damette y Seghir (2013), Huang, Hwang, & Yang (2008), Huang, Hwang y Yangd (2008), Jakovac (2013), Jin-ke et al. (2009), Lee (2005), Lee & Chang (2008), Medlock Iii & Soligo (2001), Ouedraogo, (2013), Ozturk (2010) y Toman & Jemelkova (2003).

^a Masih y Masih no encuentran cointegración para Malasia, Singapur y Filipinas, mientras que para la India encuentran evidencia de causalidad desde el consumo de energía hacia los ingresos; siendo el caso contrario para Indonesia. Y para a través de la expresión de corrección de errores. Este resultado fue, sin embargo, todo lo contrario para Indonesia, y hallan causalidad bidireccional para Pakistán.

^b Huang et al., encuentran una relación de causalidad entre PIB y consume de energía en los países de ingreso medio y alto, mientras que no encuentran relación de casualidad para países de ingreso bajo.

PIB Producto Interno Bruto

CE Consumo de energía

→, ↔, --- representan causalidad unidireccional, bidireccional y no causalidad, respectivamente.

La última columna del cuadro 7, deja ver que los estudios empíricos no permiten tener un consenso sobre la dirección de la causalidad, esto se puede observar en trabajos como los de Kraft & Kraft (1978), Akarca & Long (1980), y Stern (1993), que utilizando una muestra temporal aproximada, llegan a resultados contrarios para el caso de Estados Unidos (PIB→CE; PIB---CE y PIB↔CE respectivamente), lo mismo ocurre para Turquía y varios trabajos bajo la

metodología de datos de panel, no obstante, predominan los estudios en los que la evidencia apunta hacia una relación causal bien sea unidireccional o bidireccional, frente a los que no encuentran relación causal; este hecho resulta relevante con relación a la generación de energía a partir de los combustibles fósiles, puesto que, a escala global éstos representan la mayor proporción en la generación de energía primaria⁶⁸, y por consiguiente su cuota dentro del consumo total de energía es significativa. En esta línea siguiendo el argumento de Toman & Jemelkova (2003) podría afirmarse que el proceso de industrialización no sólo ha supuesto un mayor uso de la energía, sino que también ha estimulado el aumento del consumo de los combustibles fósiles, soportando en gran medida las distintas fases de desarrollo desde el punto de vista del consumo de energía. Esto puede corroborarse siguiendo la evolución del consumo de energía por tipo de combustible, así como la evolución de la participación media del consumo de energía procedente de los combustibles fósiles.

El Federal Institute for Geosciences and Natural Resources muestra en su informe “Reserves, Resources and Availability of Energy Resources” de 2012, como ha evolucionado el consumo mundial de energía primaria por subtipo de energético (figura 10), se puede observar una tendencia creciente en todos los subtipos de energía primaria tanto en las tres últimas décadas como en las proyecciones para los siguientes tres decenios⁶⁹. De igual manera, en la figura 11 se puede apreciar una tendencia creciente del consumo de energía eléctrica, y que la participación del consumo de energía procedente de combustibles fósiles se ha mantenido en un valor cercano al 82%⁷⁰.

⁶⁸ Además representan el principal insumo en la generación de energía secundaria.

⁶⁹ La figura de la izquierda se basa en los informes de la Agencia Internacional de la energía (IEA), que modela el comportamiento futuro por subtipo de energía primaria bajo un escenario de mantenimiento de las políticas actuales sobre el medio ambiente.

⁷⁰ Los reportes y series estadísticas de la IEA, así como de los informes de BP Statistical Review of World Energy, manejan cifras similares, corroborando el comportamiento y tendencias futuras del consumo de energía y de los distintos subtipos de energía primaria.

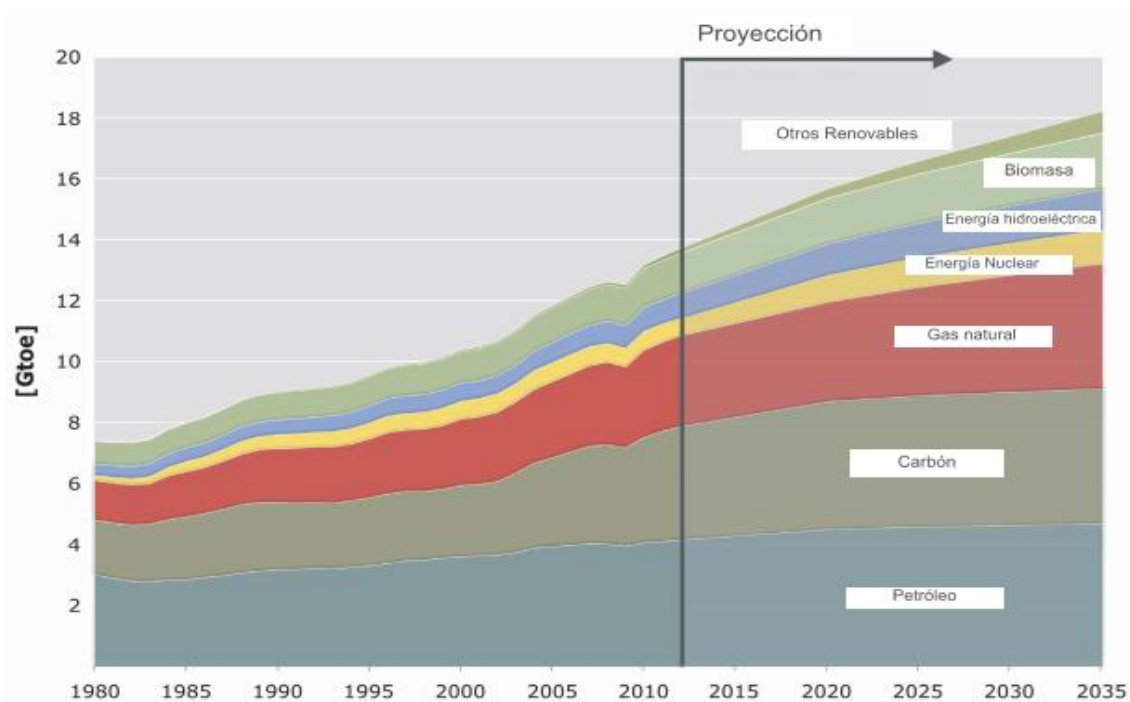


Figura 10. Evolución del consumo mundial de energía primaria por combustible, y un posible escenario futuro.

Nota. Adaptado de “Reserves, Resources and Availability of Energy Resources” por H. Andruleit et al., 2012, Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), p. 14.

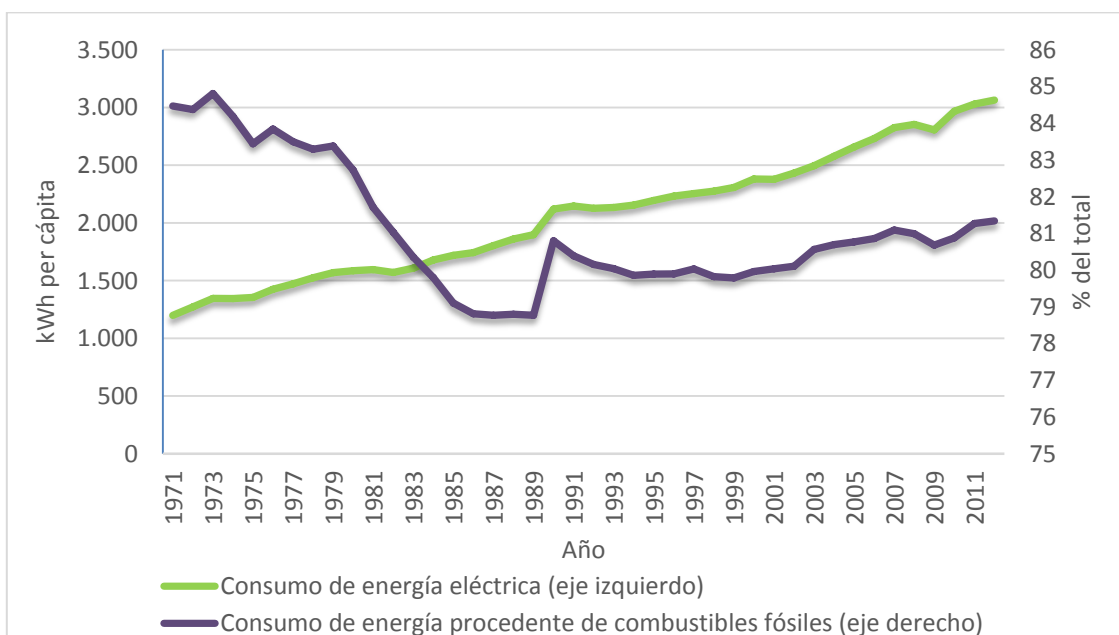


Figura 11. Consumo de Energía mundial.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de la base de datos de indicadores de desarrollo mundial del Banco Mundial. (Mundial, 2015)

En síntesis, tanto la literatura como el comportamiento de las variables relacionadas con la producción y consumo de energía sugieren la existencia de algún tipo de vínculo entre el nivel de desarrollo y los servicios de energía, incluso al desagregar el nivel de desarrollo por región (IEA, 2014, 2015c). Adicionalmente, la literatura reciente incorpora la variable pobreza como

otro factor en la relación entre energía y desarrollo, con el propósito de profundizar en los mecanismos de causalidad entre las dos variables. En este sentido los trabajos de Cotte & Pardo (2011), y Gertler, Shelef, Wolfram, & Fuchs (2011), presentan evidencia a favor de que un acceso moderno y adecuado a los servicios de energía y el incremento en el producto interno conducen a una disminución de la pobreza⁷¹.

Finalmente la literatura sobre esta temática para el caso colombiano es limitada, se encuentra algunos trabajos que, partiendo de la definición de una función de producción agregada y utilizando la metodología econométrica, exploran empíricamente el nexo entre energía y desarrollo. Tres de los estudios más destacados en la literatura para caso colombiano son los de Castillo (1999), y Cotte & Pardo (2011) y Pardo (2015). Los trabajos de Castillo, y Cotte y Pardo están orientados en probar el efecto que tiene la energía como fuente de crecimiento económico. En los dos trabajos se encuentra evidencia de que el consumo de energía tiene un efecto directo y positivo sobre el crecimiento económico, aunque para Castillo este efecto es menor, mientras que para Cotte y Pardo, no sólo existe relación entre los dos variables sino que además en consumo de energía actúa como mecanismos de disminución de la pobreza. De otro lado, Pardo estudia cómo caso de caso particular el consumo de energía para la ciudad de Bogotá. Utilizando estadística descriptiva (análisis de correlación de Pearson y de Kendall) y un análisis descriptivo sector productivo y de tendencias, la autora encuentra una asociación lineal directa entre consumo de energía y el crecimiento económico, las emisiones de CO₂, y el índice de desarrollo humano (DH), mientras que encuentra una relación inversa entre consumo de energía y desigualdad (coeficiente GINI). Asimismo, utilizando el mismo enfoque de correlación llega a resultados similares relacionando tres variables de intensidad energética por unidad de PIB y per cápita pardo (Pardo, 2015). Sin embargo, a partir de los resultados del análisis de correlación y sin realizar pruebas de cointegración y causalidad, en el trabajo se concluye una relación causal entre consumo de energía y las demás variables, por lo que, aunque los resultados del trabajo se corresponden con el comportamiento de las variables a priori, y no los resultados de otros estudios, las conclusiones de este trabajo debe tomarse con precaución.

⁷¹ Siguiendo esta deriva de la literatura se encuentran trabajos específicos sobre pobreza energética, sin embargo, por el alcance la investigación esta temática no es abordada. Para una revisión del concepto de pobreza energética y los estudios empíricos relacionados puede consultarse los trabajos de González-Eguino (2015), Kaygusuz (2011) y Nussbaumer, Bazilianb, & Modic (2012)

1.3.1.3. Calidad ambiental y agotamiento de recursos

En relación con el ítem anterior una fracción de la literatura extiende el estudio de la relación entre energía y desarrollo incluyendo el nexo con el estado de la contaminación. Estos trabajos utilizan la misma metodología de análisis, es decir, herramientas econométricas (pruebas de causalidad y de cointegración), para establecer la relación causal entre energía, desarrollo y nivel de contaminación. No obstante, esta literatura tampoco llega a un consenso; mientras algunos trabajos encuentran evidencia de una relación causal entre emisiones de CO₂ y consumo de energía (Acaravci & Ozturk, 2010b; Ang, 2008), otros por su parte, no hallan tal relación (Soytas & Sari, 2009; Soytaş, Sari, & Ewing, 2007).

En esta línea de la literatura se utiliza una combinación del enfoque de la curva ambiental de Kuznets y el enfoque de la relación entre energía y desarrollo de Kraft & Kraft (1978), con el propósito de capturar el efecto de la contaminación y la relación causal de esta variable con el uso de energía y el nivel de desarrollo. De esta forma las variables usualmente utilizadas en esta literatura son el consumo de energía medido normalmente en kilogramos o toneladas equivalentes de petróleo per cápita, las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) medidas en toneladas métricas per cápita y el PIB per cápita medido en términos constantes. Asimismo, autores como Ghosh, Alam, & Osmani (2014) entre otros, utilizan la prueba de cointegración en el contexto de los modelos de vectores autorregresivos (VAR) y de corrección de errores (VECM), que son adecuados para varias relaciones de cointegración, así como para el análisis de descomposición de la varianza y el análisis impulso respuesta.

Por su parte, otros estudios siguen una línea teórica más afín a la curva ambiental de Kuznets (CAK)⁷², aunque la metodología de análisis es más diversa, algunos autores emplean herramientas de cointegración, con el fin de validar la relación retórica de la CAK, relacionando en el análisis el nivel de desarrollo (ingreso), la energía (consumo de energía) y la contaminación (emisiones de CO₂) (Figuerola & Pasten, 2009; Ghosh et al., 2014; Soytaş & Sari, 2009), mientras que otros autores utilizan datos de sección cruzada o datos de panel para describir el comportamiento de los coeficientes del modelo, y así validara la CAK⁷³ (Asici, 2011;

⁷² Este referente teórico supone una relación en forma de “U” invertida entre el nivel de desarrollo — expresado en términos de ingreso per cápita— y el nivel de la contaminación, aunque como se mencionó anteriormente existen autores que utilizan este enfoque relacionando la energía (consumo de energía) en el modelo.

⁷³ Normalmente el utiliza como variable endógena la contaminación (CO₂), y como variables exógenas el ingreso, ingreso al cuadrado (e ingreso al cubo en algunos casos), utilizando el PIB como variable que

Canas, Ferrão, & Conceição, 2003; Caviglia-Harris, Chambers, & Kahn, 2009; Cole, 2004; Grossman & Krueger, 1995).

En cuanto a los estudios de la CAK referentes a Colombia se encuentran varios trabajos, entre los que se destacan los de Correa, Vasco, & Pérez (2005) y Tarazona (1999). En el primero, los autores utilizan tres medias de contaminación del aire: dióxido de carbono (CO_2), dióxido de sulfuro (SO_2) y la demanda biológica de oxígeno (DBO), como variables dependientes y como independientes utilizan el ingreso per cápita y la distribución de la renta. Los autores encuentran una relación positiva y significativa entre ingresos per cápita y las tres variables dependientes, lo que interpretan como una primera fase en la CAK, es decir, que el crecimiento económico incentiva una mayor contaminación (Correa, Vasco, & Pérez, 2005). Por su parte, el segundo trabajo relaciona la contaminación ambiental medida como las emisiones de CO_2 , el nivel de ingreso y la legislación ambiental. Utilizando la metodología de datos de panel, los autores encuentran que los países con niveles bajos de desarrollo tienden a aumentar sus emisiones hasta un determinado nivel de ingreso, a partir del cual las emisiones comienzan a descender (Tarazona, 1999).

Aunque desde el enfoque de la CAK la literatura internacional, así como la específica para Colombia, no vincula puntualmente la energía⁷⁴, este enfoque es válido para analizar el comportamiento de la energía y de los Inputs del flujo de materiales, con el fin de evaluar tendencias de desmaterialización. Es este sentido Canas et al. (2003) utilizan el enfoque de la CAK para establecer la relación entre el Input Directo de Materiales (IDM) y el ingreso per cápita. En su estudio los autores utilizan un panel de 16 países industrializados y un horizonte temporal de 38 años y encuentran como principal resultado evidencia estadística de una débil tendencia al desacoplamiento⁷⁵⁷⁶.

refleja el nivel de ingreso o desarrollo; el objetivo es corroborar que el signo del coeficiente que acompaña a la variable ingreso al cuadrado sea negativo. También se suele adicionar otras variables de control para comprobar que la estabilidad de los signos de los coeficientes.

⁷⁴ Por construcción la CAK evalúa el nivel de contaminación respecto al nivel de ingreso, esto implica que se omita del modelo variables que no estén relacionadas directamente con el nivel de la contaminación. De aquí que se utilice normalmente como variable dependiente las emisiones de dióxido de carbono entre otros contaminantes. No obstante, es factible vincular de forma indirecta una variable asociada con el consumo de energía utilizando las emisiones de CO_2 provenientes de la quema de combustibles fósiles. A pesar de las limitaciones de este enfoque, este punto se retomara en el capítulo II como parte del análisis de los combustibles fósiles desde la dimensión socioeconómica.

⁷⁵ Otros trabajos relevantes son los de (Hervieux & Darné, 2015) y (Wang, Kang, Wu, & Xiao, 2013) quienes relacionan en sus trabajos de la CAK el indicador de la huella ecológica, como una medida del estado de la presión ambiental derivada del crecimiento económico.

⁷⁶ No obstante, y a pesar de la extensa literatura y evidencia empírica sobre la CAK, esta línea de pensamiento económico pondera con excesivo optimismo el avance tecnológico, por lo que cabe una

Otro aspecto destacado en la literatura sobre recursos naturales energéticos no renovables ha sido el de su agotamiento. En este punto M.K. Hubbert (1956) exploró el comportamiento de la producción de petróleo y otros recursos energéticos para Estados Unidos durante todo el siglo pasado, utilizando para ello una función logística⁷⁷. A través de su modelo Hubbert estimó que el nivel máximo de producción de petróleo en Estados Unidos se alcanzaría en la década de los setenta, para luego iniciar una fase de decrecimiento de la producción de este hidrocarburo. Tras la publicación del estudio de Hubbert se ha suscitó una controversia sobre lo que se ha denominado el “Pico del Petróleo” o *Peak Oil* en inglés, y el debate sobre esta temática se ha mantenido en hasta la actualidad, encontrándose diversos estudios que utilizan la Curva de Hubbert para pronosticar el pico de petróleo (del gas natural, el carbón y de varios minerales), tanto a nivel nacional como a nivel mundial.

La representación teórica del modelo de crecimiento logístico utilizado mayoritariamente en los trabajos sobre el pico del petróleo puede describirse de forma general de la siguiente manera.

$$(a) \quad Q_{(t)} = \frac{Q_{\infty}}{[1+e^{-a(t-t_{max})}]} \quad (4)$$

$$(b) \quad Q'_{(t)} = \frac{dQ_{(t)}}{dt} = \frac{aQ_{\infty}e^{-a(t-t_{max})}}{[1+e^{-a(t-t_{max})}]^2} \quad (5)$$

Donde $Q_{(t)}$ es la producción acumulada; $Q'_{(t)}$ es la producción; Q_{∞} son las reservas recuperables finales (RRF o URR en inglés); a representa la pendiente de la curva de producción acumulada y, t_{max} indica el momento en que la producción acumulada alcanza la mitad de las reservas recuperables. Utilizando la forma funcional (a) y (b) la gran mayoría de trabajos encuentran que el pico del petróleo se presenta entre finales del siglo pasado y la primera década del presente siglo (Al-Husseini, 2006; Aleklett & Campbell, 2003; Brecha, 2012;

crítica a esta metodología, puesto que en la lógica del modelo se desconoce los límites del crecimiento de la economía dado los recursos naturales limitados, como la capacidad de la biosfera para absorber los residuos y contaminantes (Boulding, 1966).

⁷⁷ En la década de los cincuenta M.K. Hubbert utilizó una Curva de Crecimiento Logístico (llamada también Curva de Hubbert) para modelar aproximadamente el ciclo completo de la producción de crudo convencional en 48 estados de Estados Unidos. Su modelo predijo que el punto máximo de producción se alcanzaría alrededor de 1970; los datos históricos avalan esta predicción (Al-Husseini, 2006, p. 181).

Maggio & Cacciola, 2009; Mohr et al., 2015), además varios autores e instituciones ha realizado predicciones por tipo de combustible fósil a nivel mundial, así como por país y/o región; entre algunos estudios representativos se encuentra el trabajo de la Asociación para el Estudio del Petróleo y del Gas, ASPO (2009) que pronostica el pico del petróleo y del gas natural en 2008, y los artículos de Maggio & Cacciola (2009, 2012) que pronostican el pico del petróleo entre 2009 y 2021, para el gas natural ente 2024 y 2046, y para el carbón ente 2042 y 2062, mientras que Mohr et al. (2015) pronostica el pico del petróleo en 2000, para el gas natural ente 2040 y 2050, y para el carbón en 2021⁷⁸; a su vez Sorrell, Speirs, Bentley, Brandt, & Miller (2010) estima el pico del petróleo y el GNL entre 2001 y 2034.

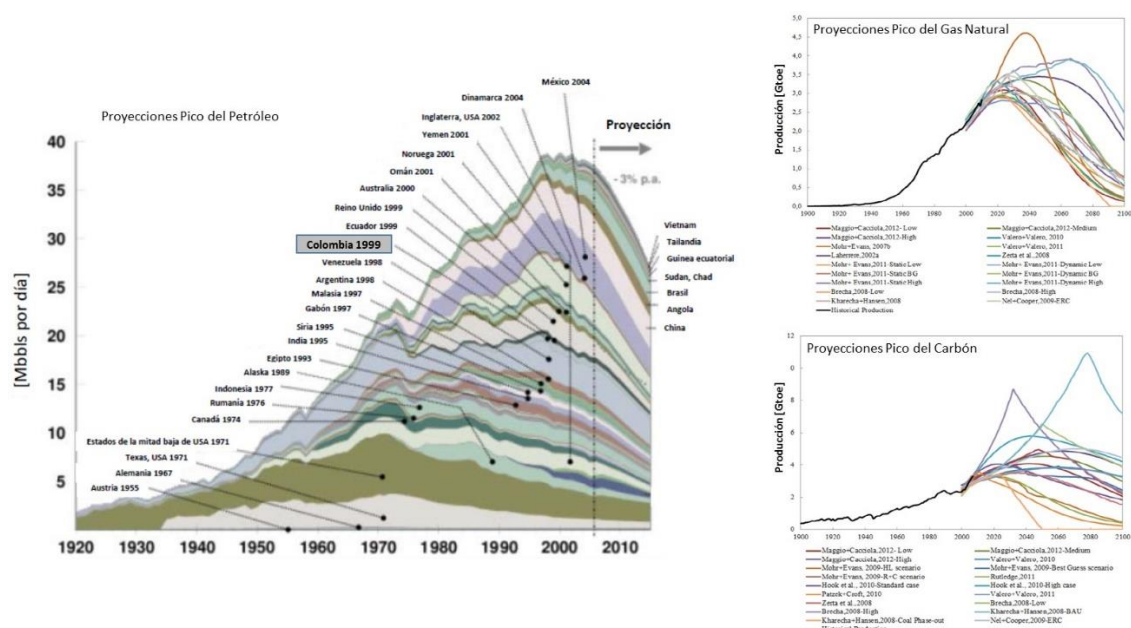


Figura 12. Predicciones del pico del Petróleo para algunos países y para el Gas Natural y Carbón a nivel global.

Nota. Adaptado de “Depletion of conventional hydrocarbons: recent perspectives on oil, gas and coal” por M. Höök, ponencia del II Congreso Internacional - Más allá del pico del petróleo: el futuro de la energía y <http://www.cenit-del-petroleo.com>.

En la figura 12, se puede observar que las estimaciones por país indican que el pico de petróleo ya se alcanzó en varios de los países productores de este hidrocarburo, y esta tendencia también puede observarse a nivel global para el gas natural y el carbón (lado derecho de la figura 12); así como en los estudios a nivel nacional, aunque la mayoría de las estimaciones sitúan el pico de producción de estos combustibles fósiles entre 2020 y 2050 (Alekkett, 2007; Li, 2011; Lin & Liu, 2010).

⁷⁸ Los trabajos de Chapman (2014) y de Almeida & Silva (2009) presentan un recorrido histórico sobre los trabajos más destacados de la curva de Hubbert.

En el caso particular de Colombia se encuentran varios trabajos respecto a la curva de Hubbert siendo dos de ellos de especial relevancia⁷⁹; en el primero, realizado por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2012b), se proyectan tres escenarios posibles sobre la producción de petróleo y gas natural basados en varias hipótesis sobre el nivel y tipo de reservas⁸⁰, y desarrollo de perfiles de producción. El escenario base para los hidrocarburos muestra que los crudos convencionales se encuentran en una fase de decline, consistente a las estimaciones de la Asociación para el Estudio del Petróleo y del Gas y la Agencia Internacional de la Energía, mientras que el pico considerando las hipótesis sobre nuevos desarrollos y YTF, se sitúa en 2016. El otro estudio realizado en conjunto por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME y la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, UPME & UNAL (2014), utiliza la metodología de dinámica de sistemas para modelar un set de variables asociadas a la producción de los principales minerales de exportación del país, entre los que se encuentra el Carón. En este trabajo también se presentan tres escenarios construidos sobre hipótesis y supuestos de la evolución de cada recurso y algunas variables económicas y sociales. Bajo las hipótesis planteadas el estudio muestra el pico del carbón por tipo; para el carbón térmico tanto en el escenario optimista como el base, la curva de Hubbert presenta una forma de meseta prolongada que se ha alcanzado a partir de 2010, mientras que para el carbón metalúrgico, en los tres escenarios (optimista, base y pesimista), el pico se alcanzó en 2012.

En síntesis estos estudios muestran una clara señal sobre el alcance del pico de los combustibles fósiles, aun en escenarios con los supuestos e hipótesis más favorables, estando además, en correspondencia con varios estudios internacionales en los que se incluyen la estimación del pico de la curva de Hubbert para el país (Campbell & Wöstmann, 2013; Sorrell et al., 2010). Esto es especialmente significativo teniendo en cuenta, como se mencionó en los apartados 1.1.2 y 1.2.1, que las exportaciones de petróleo y carbón representan más de 60% de las exportaciones totales del país, además representa la mayor participación de las regalías por recursos naturales, también representan la mayor proporción en la generación de energía primaria en el país, asimismo, los combustibles fósiles representaron en conjunto cerca del 55% y 5% del PIB minero energético y el PIB total para finales de la década pasada.

⁷⁹ Otros trabajos que presentan resultados similares a los referidos en este apartado son Leyva, Herrera, & Cadena (2014), Olaya & Dyner (2005), y UPME (2009, 2013).

⁸⁰ En el estudio se establecen las hipótesis sobre las reservas teniendo en cuenta cinco componentes: i) las reservas probadas (clasificada por la calidad del crudo -liviano, intermedio, pesado, extra-pesado-), ii) las reservas adicionadas por EOR (recuperación mejorada por recobro), iii) descubrimientos no desarrollados de petróleo y gas, iv) recursos por descubrir "YTF" (descubrimientos y desarrollo de nuevos campos - crudos pesados y gas offshore -), y v) recursos no convencionales (CBM, Shale oil, Shale gas y arenas bituminosas -tar sands-) (UPME, 2012b).

Finalmente, otro aspecto que surge al revisar la literatura es la aparición de un segmento de autores que, pese a que las estimaciones de la curva de Hubbert apuntan a que se ha alcanzado o se está próximo a alcanzar (en el caso del gas natural y el carbón) el cenit de los combustibles fósiles, critican la teoría de la curva de Hubbert y cuestionan los resultados hallados en la literatura. Las críticas a la metodología de Hubbert son extensas (Brandt, 2007), aunque se destacan algunas similitudes que permiten identificar algunos problemas de forma general, tales como:

- Los cálculos se basa en un determinado valor (real o estimado) de las reservas recuperables finales en un determinado período de tiempo en el que se realiza la estimación, esto supone un valor estático de las reservas, es decir, que el modelo no contempla la aparición de nuevos yacimientos que incrementen las reservas totales. El inconveniente con esto punto según Brandt (2007) y Labban (2010), es que ni las reservas ni la producción son constantes en el tiempo, por lo que la relación R/P tiene escaso valor como técnica de pronóstico.
- Otro punto que se suprime en la modelación es el estado de la tecnología (la técnica de extracción) y los precios, estos factores incentivan o desincentivan la producción alterando su evolución. Asimismo, se ignora la el análisis de la rentabilidad que influye en las decisiones de inversión, y por tanto, también en la producción.
- Otros aspectos no contemplados son la sobre-explotación, las decisiones políticas y las técnicas de "Recuperación Mejorada" (EOR), que pueden incidir en la velocidad a la que declina la producción o la extensión de los años de madurez de un yacimiento, haciendo que la curva de producción sea asimétrica (Mirre Gavalda, 2012)⁸¹.

En consecuencia con lo anterior Brandt (2007), Labban (2010) y Lacalle Fernández and Parrilla (2014), exponen que la forma de "Campana de Gauss" que tiene la curva de Hubbert no es simétrica; ésta presenta una declinación suave y prolongada a medida que van disminuyendo las reservas. Además de estas críticas al modelo de Hubbert, Labban adiciona otra de carácter conceptual, este autor expone que las ambigüedades en la definición de las reservas recuperables dificultan la determinación del tamaño real de las reservas recuperables finales. Esta crítica es relevante no sólo en un sentido conceptual, sino que también lo es en un

⁸¹ Estos factores son igualmente validados en el caso de la curva de Hubbert para los minerales.

sentido operativo, puesto que la fecha de pico pronosticada por el modelo es muy sensible a cualquier cambio en las reservas recuperables finales (RRF).

Aunque estas críticas se basan en aspectos técnicos de la forma funcional del modelo de Hubbert y los parámetros físicos de los yacimientos su ritmo de producción (Mirre Gavalda, 2012), no necesariamente invalida la lógica del modelo, es decir, el que las reservas no son ilimitadas y la tasa de producción siempre declina con el tiempo, por lo que con independencia de la adición de nuevas reservas o lo acertado de los pronósticos del pico de producción, el agotamiento de los recursos energéticos no renovables se alcanzará en algún momento del tiempo⁸².

1.3.2. Trascendencia biofísica del desarrollo desde el enfoque del metabolismo socioeconómico

El campo de estudio del metabolismo socioeconómico a diferencia de los enfoques analíticos anteriores, estudia la relación hombre–naturaleza⁸³, desde la perspectiva de la biofísica (Carpintero & Naredo, 2004; Fischer-Kowalski & Huttler, 1998; Fischer-Kowalski et al., 2011), desde esta perspectiva el análisis del metabolismo socioeconómico recibe la influencia de otras disciplinas como la termodinámica (entropía) de Nicholas Georgescu-Roegen, la ecología política (sistemas ecológicos/metabolismo) de Grinevald, Gorz y Lipietz, la biomimesis (imitación de la naturaleza/organismos vivos) de Jorge Riechmann y de la economía ecológica con autores como Robert Constanza, Joan Martínez-Alier y José Manuel Naredo entre otros. Sin embargo, metodológicamente la literatura en el metabolismo socioeconómico se basa primordialmente en el análisis del flujo de materiales o contabilidad del flujo de materiales⁸⁴.

Bajo esta referencia la literatura en esta temática es abundante y presenta una gran variedad de pruebas empíricas a favor de la relación de deterioro entre la biosfera y el proceso

⁸² Para los fines de esta investigación la metodología de la curva de Hubbert se considera válida para exponer la relación entre el comportamiento de la producción y algunas variables económicas, por lo que se utilizará en el capítulo II, bajo el enfoque de la Dinámica de Sistemas.

⁸³ Esto quiere decir que el estudio de la relación entre el hombre (sistema socioeconómico) y los recursos naturales (flujos de materiales) y energía (sistema ecológico–ambiental) se estudia desde una racionalidad no monetaria y ecocéntrica.

⁸⁴ Puesto que la metodología además de permitir identificar los inputs y outputs de materiales, también permite identificar los flujos de energía, algunos trabajos utilizan el acrónimo AFME para referirse al análisis del flujo de materiales y energía.

económico. Uno de los trabajos más representativos por su cobertura geográfica y temporal, y que señala entre sus conclusiones esta relación de deterioro, es el realizado por el Institute of Social Ecology, de la Universidad Alpen-Adria-Universität Klagenfurt de Austria, el estudio presenta la evaluación del uso global de los materiales basado en los principios conceptuales y metodológicos de la contabilidad del flujo de materiales, para el período 1900-2005, resaltando las distintas fases de la industrialización a nivel global y el crecimiento económico con relación a los cambios en el tamaño total y la composición del flujo de materiales. Además, evidencia que el incremento en el uso de recursos de la biosfera se ha multiplicado por un factor de 8 en las últimas décadas, alcanzando en 2005 la cifra de 59 giga toneladas por año (gt/a) de materiales extraídos y utilizados en todo el mundo (Krausmann et al., 2009).

Otros trabajos destacados a nivel global son los realizados por Behrens, Giljum, Kovanda, & Niza (2007), Dittrich and Bringezu (2010) y Dittrich, Bringezu, and Schütz (2012). En el primero se utiliza un período de dos décadas y se presentan resultados a nivel mundial y por contiene, una de las conclusiones principales del estudio es que Asia y Latinoamérica presentan un crecimiento importante en la extracción global de recursos. Los dos estudios siguientes analizan el comportamiento del flujo de materiales entre 1962 y 2006, los resultados de estos trabajos muestran que el comercio mundial de materiales alcanzó cerca de 10 mil millones de toneladas en 2005, siendo los combustibles fósiles el tipo de material más comercializado en unidades físicas, además, el estudio revela que Latinoamérica, las islas del sudeste asiático y Asia central fueron los grandes exportadores de recursos, lo cual está en correspondencia con el trabajo de Behrens et al., (2007); esta tendencia supone que las regiones emergentes están realizando una extracción de materiales a una tasa mayor que las regiones desarrolladas.

Otros estudios a nivel regional y de país, que presentan resultados similares en cuanto al comportamiento de los saldos contables e indicadores del AFM son Carpintero (2003) y Carpintero & Naredo (2004) para España, Dai & Chen (2010) para China, Kahhat & Williams (2012), y Matos & Wagner (1998) para Estados Unidos, Kovanda & Hak (2008) para tres economías en transición y la UE15, y Russi et al. (2008) y West & Schandl (2013) para Latinoamérica.

De los estudios anteriores se destaca el realizado por Carpintero (2003). El autor analiza el comportamiento del flujo de materiales para la economía española en la última mitad del siglo pasado (1955-2000) y llega a conclusiones similares a las planteadas por Krausmann et al. (2009) Adicionalmente, Carpintero realiza una exposición de la dependencia ecológica externa

a través del análisis de los flujos físicos y la valoración monetaria del comercio exterior en España concluyendo que el comportamiento de la economía española se asemeja al patrón de las economías desarrolladas en cuanto a la tendencia a ser importador neto de materiales.

De otro lado, la revisión de literatura en la temática del metabolismo social para el caso colombiano es más reducida; se encontraron únicamente tres autores que aborda esta metodología Alfonso & Pardo (2014), Pérez (2003, 2006a) y Vallejo et al., (2011). El primero realiza un estudio específico para la ciudad de Bogotá, mientras que los dos siguientes analizan el rendimiento metabólico a nivel nacional. En el trabajo de Alfonso y Pardo se aplica la metodología del AFM a nivel urbano para determinar la relación entre la demanda de recursos y el impacto ambiental producido en Bogotá. En el estudio hace una adaptación de los inputs sustituyendo los flujos normalmente empleados en la literatura⁸⁵ para incluir el consumo de energía, agua, alimentos y materiales de construcción, mientras que en los outputs se utilizan las emisiones⁸⁶ de CO_x, CO, SO_x, NO_x, PM₁₀, aguas residuales, residuos sólidos, y residuos de construcción y demolición. Los resultados de este estudio indican que entre 1980 y 2010 el consumo de energía y los materiales de construcción, así como las emisiones de CO₂, CO, SO_x y NO_x en valores totales por año, han aumentado de manera significativa.

Por su parte, el trabajo de Pérez se orienta en establecer los efectos que el comercio internacional tiene sobre la extracción y transformación de los recursos naturales en Colombia, derivados del proceso de desarrollo del país y su tipo de inserción en la economía mundial. El estudio utiliza las cuentas del AFM para construir la balanza comercial física (BCF) para ilustrar el comportamiento del intercambio ecológicamente desigual en el período 1970-2002. Entre las conclusiones más relevantes del trabajo se destaca que las presiones ambientales del país se explican en gran parte por su patrón de comercio en la economía global, es decir, que su papel de proveedor de materia primas a los países desarrollados, incide directa y constantemente en las presiones ambientales del país, a través de la importación de recursos naturales del mundo desarrollado. El estudio concluye además, que el balance físico para los 33 años de estudio arroja déficit de 591 millones de toneladas de materiales exportadas al respecto del mundo (Pérez, 2003), siendo las exportaciones minero-energéticas las que representan la mayor proporción de flujo de materiales exportados.

⁸⁵ La metodología del AFM plantea como inputs los combustibles fósiles, la biomasa y los minerales.

⁸⁶ CO_x: dióxido de carbono, CO: monóxido de carbono, SO_x: dióxido de azufre, NO_x: óxido de nitrógeno, PM₁₀: material particulado, solido o liquido en suspensión a 10 micras.

Asimismo, el autor presenta desde la perspectiva de los términos de intercambio una hipótesis denominada *hipótesis del intercambio ecológicamente desigual*, siguiendo la línea argumental de Prebisch. En este punto el autor muestra como en el caso colombiano, además de presentar un déficit material por la mayor proporción de exportaciones (salidas) de sus recursos naturales en comparación con sus importaciones (entradas) de los mismos, también presenta la evolución de los precios por tonelada exportada e importada de materiales evidenciando una clara tendencia de crecimiento de los precios de las importaciones por tonelada frete a un acelerado decrecimiento de los precios por tonelada exportada de materiales. Para el autor este hecho corresponde a una comprobación de los términos de intercambio desigual de Prebisch aunque en un sentido ecológico, puesto que, a la vez que se pasa de exportar un volumen menor a 15 millones de toneladas de materiales (Mton) en 1970 a más de 60 Mton en 2010, el precio promedio por tonelada de esa exportaciones a disminuido vertiginosamente pasando de más de 110 dólares por tonelada (US\$/ton) en 1976 a menos de 20 US\$/ton⁸⁷ (Pérez, 2006a) .

Finalmente el estudio realizado por Vallejo, Pérez y Martinez-Alier, presenta una similitud con el trabajo de Pérez (2003, 2006), tanto en su metodología como en las conclusiones a las que llegan. Un elemento diferenciador en el trabajo de Vallejo et al., (2011) es que se hace una análisis más detallado de los flujos que componen la extracción doméstica de materiales (DE), así como una mayor profundización en los indicadores físicos del input directo de materiales (DMI) y el consumo doméstico de materiales (DMC), así como una comparación del rendimiento metabólico del País con Ecuador, España y con grupos de países clasificados por nivel de ingreso. No obstante, como se menciona antes las conclusiones de ese trabajo son similares al anterior.

1.3.3. Uso eficiente de los recursos en la economía desde la perspectiva de la ecoinnovación y la ecoeficiencia

La literatura en ecoinnovación y ecoeficiencia presenta varios enfoques o énfasis de análisis. Así, para la literatura en ecoinnovación se encuentran varias líneas de investigación según el enfoque dado por el autor. Se encuentran trabajos relacionados con el nivel o jerarquía de las

⁸⁷ Esto representa que el volumen de exportaciones en el período de estudio se ha multiplicado aproximadamente por un factor mayor a 4, mientras que el precio medio por tonelada se ha reducido cerca de 11 veces.

unidades de estudio (nivel micro, meso y macro), así como relacionados con la tipología de ecoinnovación: tecnologías ambientales, innovación organizacional, innovación en productos y servicios, y sistemas de innovación verde, o incremental, rediseño, funcional o alternativas de producto, y sistémica (Charter & Clark, 2007; Kemp, 2010), también se encuentran referencias según la dimensión de la ecoinnovación: objetivos, mecanismos e impactos, así como, por los tipos de mecanismo de difusión: modificación, rediseño, alternativas y creación (Machiba, 2010). Debido a todos estos factores la literatura empírica y los estudios de caso presentan en gran medida resultados específicos, lo cual dificulta establecer categorías generales o extraer conclusiones generales (Kemp & Pontoglio, 2011). A continuación se presenta un cuadro resumen sobre los principales estudios en ecoinnovación, que permite tener una visión general sobre el estado de la investigación en este tema, así como las principales líneas sobre las que se orienta la literatura.

Cuadro 8. Resumen de estudios en ecoinnovación

Autor	Foco primario	Tipo de estudio	Datos / muestra	Principales conclusiones
Wagner (2008)	Investigar la hipótesis de que los sistemas de gestión ambiental (SGA) tienen una influencia positiva en la probabilidad de las empresas llevar a cabo ecoinnovaciones.	Estudio de panel de datos para países de la UE. Análisis econométricos con modelos de elección discreta binarios y multinomiales.	Base de datos de la encuesta: Barómetro Europea de Medio Ambiente de Negocios 2001/2002. Se utilizaron variables relacionadas con factores determinantes en la aparición de ecoinnovaciones.	Los resultados evidencian que el tamaño de la empresa no tiene efectos sobre la probabilidad de que una empresa realice ecoinnovaciones en productos o procesos. Además, se concluye que los sistemas de gestión ambiental muestran un grado de asociación con las ecoinnovaciones en procesos, pero no en cuanto a ecoinnovaciones de productos.
Ziegler & Seijas Nogareda (2009)	Investigar la relación causal entre la adopción de sistemas de gestión ambiental (SGA) y las ecoinnovaciones.	Estudio micro (a nivel de firma). Análisis econométricos con modelos probit univariados y multivariados.	Sector manufacturero (368 empresas) de Alemania. Variables de interés: ISO 14001 y EMAS.	Se encuentra una asociación positiva y significativa entre la ecoinnovación y los procesos de certificación en sistemas de gestión ambiental (SGA), el estudio o no establece la relación de causalidad entre las variables.
Kemp & Pontoglio (2011)	Identificar los efectos de las ecoinnovaciones derivadas de los instrumentos de política ambiental.	Revisión de literatura / Análisis de cuatro enfoques sobre ecoinnovación.	Literatura sobre modelos teóricos sobre incentivos para la ecoinnovación, estudios econométricos, análisis de encuestas y estudios de caso sobre tecnologías ecológicas.	Los autores concluyen que los instrumentos de política no son útiles para clasificar los efectos de la ecoinnovaciones, puesto que los impactos de las políticas dependen de su diseño y del contexto en el que se utilizan. Además, el estudio también concluye que la influencia de los instrumentos de mercado en la innovación (como el comercio de emisiones y los impuestos) es mucho más débil de lo previsto.

Díaz-Rainey & Ashton (2015)	Investigar los factores que determinan la adopción de ecoinnovaciones en eficiencia energética.	Estudio de caso. Enfoque econométrico con modelos Logit y Poisson.	Dos encuestas de hogares en el Reino Unido. Variables de interés: rendimiento de la inversión y difusión.	Los resultados del estudio presentan evidencia a favor de que la adopción de productos basados en ecoinnovación se debe al nivel de difusión de las ecoinnovaciones y no al rendimiento de la inversión.
-----------------------------	---	--	---	--

Nota. Elaborado por el Autor a partir de Wagner (2008), Ziegler y Nogareda (2009), Kemp y Pontoglio (2011), (C. Cheng & Shiu, 2012)⁸⁸, Díaz-Rainey y Ashton (2015)

Otros estudios destacados son los de Segarra et al. (2011) y Triguero, Moreno-Mondéjar, and Davia (2013). En el primero se realiza un estudio de caso para el sector cerámico en España, la base de datos utilizada es PITEC (Panel de Innovación Tecnológica), y la metodología de análisis es la modelación econométrica (regresión lineal); el objetivo del trabajo es identificar los factores explicativos de la ecoinnovación⁸⁹ en la industria cerámica. Los resultados de este estudio indican que el tamaño de la empresa medido por el número de empleados, las ventas y la inversión total, tiene una relación positiva con la ecoinnovación. Por su parte, en el segundo trabajo se realiza un estudio empírico a nivel de la UE27 para establecer los determinantes de los distintos tipos de ecoinnovación en las PYME. Utilizando un modelo probit de panel, los autores encuentran que la ecoinnovación en productos es más propensa en empresas que se enfrenta a una demanda creciente de productos ecológicos, y que además generan redes de asociación con institutos de investigación y universidades, mientras que las ecoinnovaciones en procesos se relacionan más con los factores de oferta como las innovaciones organizacionales y el ahorro en costos. Además, se concluye que el acceso a subsidios e incentivos fiscales, en el caso de las PYME en la UE, no tienen ningún efecto significativo en la decisión de las ecoinnovaciones (Triguero et al., 2013).

En cuanto a la revisión de literatura en ecoinnovación y combustibles fósiles no se encontraron referencias en este tópico; sólo se identificaron algunos trabajos aislados en ecoinnovación y eficiencia energética en general, y de igual forma tampoco se identificaron estudios concretos sobre Colombia⁹⁰.

En cuanto a la literatura en ecoeficiencia se pueden identificar dos líneas generales de literatura según la dimensión de la unidad de análisis, una orientada a los estudios a nivel de

⁸⁸ Para contar con un mayor detalle sobre la evolución de la literatura en ecoinnovación se puede revisar el trabajo de Cheng y Shiu (2012).

⁸⁹ En el estudio se utiliza el grado de orientación medioambiental de las empresas al innovar (definido en la base de datos PITEC como efecto 8) como variable que mide la ecoinnovación.

⁹⁰ Este vacío de literatura también se encontró en la temática de ecoeficiencia, por lo que esta investigación representa un aporte original en este campo de estudio.

firma o empresa y otra a nivel sectorial, sin embargo, según la finalidad del estudio, el tipo de relación que se pretende establecer y las variables utilizadas, no es fácil establecer una categoría estándar para clasificar la literatura en ecoeficiencia. Al igual que en el caso anterior se presenta a continuación un cuadro resumen sobre los principales estudios en ecoeficiencia.

Cuadro 9. Principales estudios en ecoeficiencia

Autor	Foco primario	Tipo de estudio	Data / muestra	Principales conclusiones
(Dahlström & Ekins, 2005)	Valora las tendencias de ecoeficiencia en las industrias de acero y aluminio del Reino Unido.	Análisis descriptivo de tendencias de eficiencia y productividad de recursos.	Base de datos de la industria de acero y aluminio del Reino Unido.	El estudio concluye que en el horizonte de tiempo analizado, las industrias de acero y aluminio han mejorado en términos de ecoeficiencia, aunque se ha presentado una disminución de la producción por unidad de material y energía consumida, se según los autores se explica por el efecto de los precios de estos recursos
(Kortelainen & Kuosmanen, 2007)	Medición de la ecoeficiencia en el sector automovilístico de Finlandia.	Estudio de caso. Enfoque determinístico: análisis envolvente de datos (DEA), y precios sombra.	Muestra seleccionada de 88 modelos de vehículos. Datos de la Administración de Vehículos de Finlandia (AKE).	Se presenta la pérdida en términos monetarios debido a la menor ecoeficiencia para 60 modelos de automóviles que se estudian, de los cuales 16 modelos se concluyen como ineficientes y ambientalmente dañinos.
(Dieckhöner, 2012)	Comprobar si la eficiencia energética reduce el consumo de energía en Alemania.	Estudio empírico a modelación econométrica con regresión de diferencias en diferencias.	Datos de 5000 hogares. Cobertura 1992-2010.	El aumento de subsidios para modernización en eficiencia energética de los hogares se realiza significativamente más por propietarios que por inquilinos, aunque este aumento no tiene

					a crecer más ante mayores subsidios.
(Y. Yu, Chen, Zhu, & Hu, 2013)	Evaluar tendencias ecoeficiencia en China.	las de en	Descriptivos. Utilización de indicadores de ecoeficiencia. Variables relevantes: extracción doméstica y consumo total de energía.	Datos agregados a nivel nacional. Período 1978-2010.	Las tecnologías de final de tubo presentaron un efecto positivo en la reducción en la mejora de ecoeficiencia, mientras que la estructura económica tuvo un efecto negativo; esta estructura también incidió en la tendencia creciente de la extracción doméstica de materiales debido a un elevado aumento de la extracción de minerales.

(Costa-Campi, García-Quevedo, & Segarra, 2015)	Establecer en qué grado se logra la mejora de la eficiencia energética (EE) como objetivo de innovación en las empresas españolas.	Estudio de caso. Enfoque econométrico, modelo logit.	Sector manufacturero en España.	El tamaño de las compañías es relevante como facilitador de la innovación en ecoeficiencia energética.
--	--	--	---------------------------------	--

Nota. Elaborado por el Autor a partir de (Dahlström & Ekins, 2005), (Kortelainen & Kuosmanen, 2007), (Dieckhöner, 2012), (Yu et al., 2013) y (Costa-Campi et al., 2015).

Otros estudios empíricos relevantes que analizan la ecoeficiencia son los de Camarero et al. (2013), que estudia la convergencia de los países de la OCDE en ecoeficiencia medida a través del comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrógeno (NO_x) y óxido de sulfuro (SO_x); Guenster, Bauer, Derwall, & Koedijk (2011) que relacionan el comportamiento de la ecoeficiencia con el rendimiento financiero de la compañía; y Helminen (2000) que realiza un estudio sectorial para la industria de la celulosa y papel en Finlandia y Suecia. Por último, como se mencionó antes no se encontró literatura empírica para el caso colombiano ni a nivel nacional ni a nivel sectorial.

1.4. METODOLOGÍA, MATERIALES Y MÉTODO

1.4.1. Metodología de investigación

Como se mencionó en apartados anteriores, la metodología delimitada para el desarrollo de esta investigación se divide en dos bloques o dimensiones: dimensión económico-social y ecológico-ambiental. Desde esta perspectiva la metodología (y los métodos utilizados) se enmarcan en el análisis empírico-descriptivo y la argumentación con datos⁹¹. En la primera dimensión se utilizan métodos econométricos y la dinámica de sistemas para contrastar las hipótesis planteadas y dar respuestas a las preguntas y objetivos específicos; operativamente el este bloque se desarrolla a partir de modelos de series de tiempo y cointegración (Box & Jenkins, 1978; Box & Tiao, 1975; Clive & Lin, 1995; Johansen, 1988; Johansen & Juselius, 1990; Kirchgässner, Wolters, & Hassler, 2013; Pérez, 2006, 2011; Sims, 1980, 1981; Sjö, 2008), modelos uniecuacionales por variables instrumentales (Anderson & Rubin, 1949; Andrews, 1999; Hall, Inoue, Jana, & Shin, 2007; Stock, Wright, & Yogo, 2002; Windmeijer, 2005) y modelos de datos de panel dinámicos (Agung, 2014; Arellano, 2003; Arellano & Bond, 1991; Bhargava, 1991; Blundell & Bond, 1998; Blundell, Bond, & Windmeijer, 2000; Bun & Windmeijer, 2010). De igual forma se utiliza un enfoque determinístico basado en el modelo de la curva logística (Hubbert, 1956, 1982) para simular las tendencias futuras de producción de los combustibles fósiles; este enfoque se aplica basado en de la *Dinámica de Sistemas*⁹² (Costanza & Gottlieb, 1998; Costanza & Voinov, 2001; Forrester, 1997; Meadows et al., 1972; Meadows & Wright, 2008; Morecroft & van der Heijden, 1992).

En la segunda dimensión se utiliza una metodología derivada de la economía ecológica y la ecología industrial (metabolismo socioeconómico), así como la modelación econométrica con el mismo propósito de contrastar las hipótesis planteadas y responder a las preguntas y objetivos específicos relacionados con la dimensión ecológico-ambiental. Operativamente este bloque se desarrolla a partir de la metodología del análisis del flujo de materiales (AFM), la balanza comercial física (BCF) y los términos de intercambio ecológicamente desigual (Ayres, 1989; Carpintero, 2005; Eurostat, 2001; Fischer-Kowalski & Huttler, 1998; Fischer-Kowalski et al., 2011; Hinterberger et al., 1997; INE, 2010; Pérez, 2003, 2006a). Además, se utilizan modelos de ecuaciones simultáneas (Amemiya, 1977; Berndt & Wood, 1975; Greene, 2003; Gujarati & Porter, 2010; Wooldridge, 2006)⁹³, para establecer la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de combustibles fósiles.

⁹¹ Para una descripción detallada de estos tipo de investigación en economía aplicada puede revisarse las obras de A. Ramos (2010) y Wuyts (1992).

⁹² Esta metodología fue utilizada por primera vez por Meadows et al., (1972), incluyendo entre las variables los recursos naturales energéticos.

⁹³ Para el desarrollo de los modelos de series de tiempo y de datos de panel se siguió la estructura usual encontrada en la literatura econométrica, es decir, primero se definió la forma funcional de los modelos

Por otra parte, debido a las limitaciones en la disponibilidad de series estadísticas extensas por departamento para la totalidad de las variables relacionadas en la investigación, se delimita el nivel de agregación de los análisis como parte del diseño metodológico. Para el capítulo dos los análisis se realizan en el nivel nacional y territorial dado que se dispone de la información para los dos niveles de detalle, mientras que para los capítulos tres, cuatro y cinco, los análisis se realizan a nivel nacional debido a la falta de datos o series incompletas para las unidades regionales.

Finalmente, se restringe la definición de recursos naturales energéticos (RNE)⁹⁴ con el fin de delimitar el estudio a las variables relevantes de interés. En este sentido la categoría recursos naturales energéticos corresponde exclusivamente a los combustibles fósiles (petróleo⁹⁵, carbón y gas natural), con el fin de aislar el efecto de estos recursos en el crecimiento económico, el desarrollo y el flujo de materiales.

1.4.2. Definición de variables, y delimitación geográfica y temporal

Para la selección de las variables incluidas en la investigación se tuvo en cuenta tres criterios de selección, los cuales se han denominado como: i) relevancia en la literatura, ii) fiabilidad de la fuente y, iii) disponibilidad de los datos. El primer criterio se refiere a que las variables tengan sustento teórico y sean de uso común en la literatura relevante, por lo que después de

(especificación matemática de los modelos basada en la teoría económica), luego se realizó la especificación estocástica, el contraste de hipótesis y la validación de los modelos (Gujarati & Porter, 2010), con el fin de establecer modelos adecuados para la identificación de factores (determinantes), mecanismos (procesos) y resultados (impactos), así como, las relaciones de causalidad y co-movimiento entre los recursos naturales energéticos, el crecimiento y el desarrollo del país. Este procedimiento también se utilizó en el caso de la modelación a través de la dinámica de sistemas para analizar el comportamiento futuro de la producción de petróleo, gas natural, carbón y de las regalías percibidas por estos recursos energéticos.

⁹⁴ En términos generales los recursos naturales pueden ser entendidos como los distintos bienes y servicios de la naturaleza que sirven para satisfacer las necesidades materiales y energéticas de los seres humanos. Dentro de esta categoría genérica se encuentran los recursos naturales energéticos (RNE) renovables y no renovables, como los combustibles fósiles, la biomasa y los minerales entre otros (OLADE, 2011), sin embargo, esta clasificación de recursos naturales energéticos es bastante amplia, por lo que para los fines de esta investigación se limita su alcance y definición, entendiéndose por RNE únicamente al grupo de recursos energéticos formado por el petróleo, el gas natural y el carbón.

⁹⁵ Puesto que el petróleo hace parte de una categoría más amplia “hidrocarburos”, se precisa que para todos los análisis, la variable petróleo se debe asumir como petróleo crudo, salvo en los casos en los que se aclare que corresponde a crudo más otros hidrocarburos como líquidos de gas natural (LGN) y Shale Oil entre otros.

realizar la revisión de literatura se seleccionaron las variables utilizadas con mayor frecuencia por los autores consultados, creando un set de variables por cada componente o análisis empírico a realizar en la investigación. Después de realizar dicha selección, se aplicaron los criterios dos y tres. En este caso el criterio “fiabilidad de la fuente” consistió en elegir las bases de datos más citadas en la literatura cuya fuente o Institución responsable de recopilar los datos estadísticos fuera relevante (i.e. Banco mundial, agencia internacional de la energía o unidad de planeación minero energética de Colombia, etc.), finalmente el criterio “disponibilidad de los datos “ se tuvo en cuenta para seleccionar la base de datos o variable que presentara la información más completa y actualizada para el rango de años establecido para la muestra. De esta forma se seleccionó el set de datos estadísticos para cada variable incluida en la investigación. Este procedimiento se utilizó tanto para las bases de datos internacionales como para las bases de datos nacionales. A continuación se presenta dos cuadros que resumen las bases de datos, las variables y fuentes seleccionadas.

Cuadro 10. Resumen de bases de datos de estadísticas consultadas

Base de Datos Estadísticas	Institución
Fuentes Internacionales	
Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI)	BM
Database on Financial Development and Structure	BM
World Economic Outlook (WEO) Database	FMI
Primary Commodity Prices	FMI
International Energy Statistics	EIA
IEA Online Data Services	IEA
Human Development Index and its components	PNUD
Penn World Table Version 7.1	University of Pennsylvania
Penn World Table Version 8.0	University of Pennsylvania
Freedom House	Freedom in the World
Economic Freedom Dataset	Economic Freedom Network
Polity IV Project Statistics	Center for Systemic Peace
CEPALSTAT	CEPAL
Chinn-Ito Financial Openness Index	The Chinn-Ito Index ^a
Material Flows Statistics	SERI
UN Comtrade Database – Commodities	Naciones Unidas (UN)
Fuentes Nacionales	
Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO)	UPME
Sistema de Información de Petróleo y Gas Colombiano (SIPG)	UPME
Estadísticas Minería	Ecocarbón y Minercol
Estadísticas Cuentas Nacionales	DANE
Estadísticas Comercio Internacional	DANE
Estadísticas Demografía y Población	DANE
Estadísticas Precios y Costos	DANE
Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH)	DANE
Estadísticas Tributarias	DIAN
Regalías	DNP-SNR
Indicadores Económicos	DNP
Índice de Desarrollo Departamental	DNP
Informe Estadístico Petrolero	ACP
Servicio de Estadísticas	Banco de la República
Estadísticas sector Agropecuario	SAC
Estadísticas Sector Educación	Ministerio de Educación de Colombia

Nota. Elaborado por el Autor.

BM: Banco Mundial; FMI: Fondo Monetario Internacional; EIA: Energy Information Administration U.S.; IEA: International Energy Agency; PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo; CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe; SERI: Sustainable Europe Research Institute; UN: Naciones Unidas; UPME: Unidad de Planeación Minero Energética; Ecocarbón: Colombiana de Carbón Ltda.; Minercol: Empresa Nacional Minera Ltda.; DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas; DIAN: Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales; SNR: Sistema Nacional de Regalías.

^a Estadística de apertura financiera de “The Chinn-Ito Index”, Recuperado de http://web.pdx.edu/~ito/Chinn-Ito_website.htm.

El cuadro 10 presenta las bases de datos de las que se han obtenido los datos para cada variable incluida en la investigación, tanto para los análisis empíricos como para los análisis descriptivos. Asimismo, el cuadro 11 presente de forma abreviada las variables para cada componente o dimensión de análisis.

Cuadro 11. Variables seleccionadas

Componente	Variable	Fuente
Componente Combustibles fósiles	Producción, reservas y exportaciones	IEA
	Producción, reservas, exportaciones y consumo interno	UMPE
	Precios	UPME-FMI
	IED hidrocarburos y minería	DANE
Componente Económico	PIB y PIB per cápita	WDI
	Inversión	WDI
	Inversión extranjera Directa	WDI
	Inflación	WDI
	Población	WDI
	Fuerza laboral	WDI
	Índice de capital humano por persona	WDI
	Tipo de cambio	WDI
	Términos de intercambio	WDI
	Apertura comercial	PWT
	Profundización financiera	Thorsten Beck
	Gasto público	FMI
	Deuda pública	FMI
	Impuestos	DIAN
	Índice de desarrollo Departamental	DNP
Componente Social e Institucional	Coefficiente Gini	WDI
	Libertades políticas	Freedom House
	Libertades civiles	Freedom House
	Voz y Rendición de Cuentas	Worldwide Governance Indicators
	Estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo	Worldwide Governance Indicators
	Efectividad Gubernamental	Worldwide Governance Indicators
	Calidad Regulatoria	Worldwide Governance Indicators
	Estado de Derecho	Worldwide Governance Indicators
	Control de la Corrupción	Worldwide Governance Indicators
	Tamaño del Gobierno	Fraser Institut
	Sistema Legal y Derechos de la Propiedad	Fraser Institut
	Acceso a una moneda sana	Fraser Institut
	Libertad de comercio internacional	Fraser Institut
	Regulación crediticia, laboral y de negocios	Fraser Institut
Componente Ecológico-Ambiental	Extracción doméstica de materiales	SERI
	Emisiones de CO ₂	WDI
	Emisiones CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O	UPME

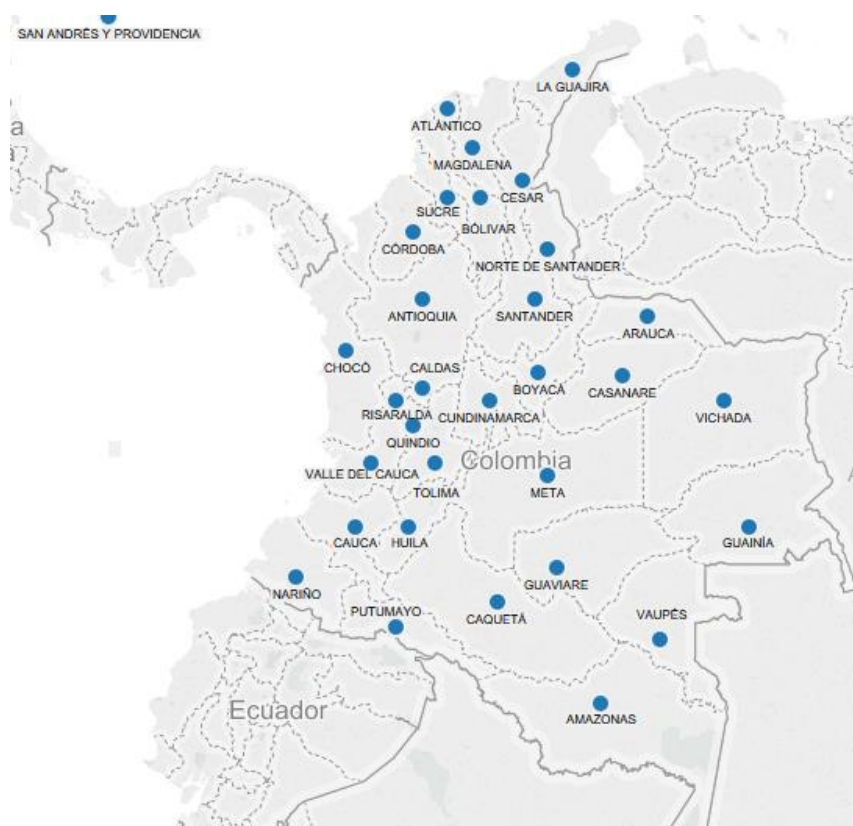
Nota. Elaborado por el Autor.

WDI: Word Development Indicators; FMI: Fondo Monetario Internacional; SERI: Sustainable Europe Research Institute; UPME: Unidad de Planeación Minero Energética; DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas; DNP: Departamento Nacional de Planeación, y DIAN: Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales. CO₂: dióxido de carbono; CH₄: metano y N₂O: óxido nitroso

Por otra parte, como se mencionó antes la delimitación de la unidad de análisis se ha establecido en la categoría de “Combustibles Fósiles” conformada por *el petróleo, el gas*

*natural y el carbón mineral*⁹⁶. La delimitación se plantea de esta forma por un doble propósito⁹⁷: establecer el impacto de estos recursos en el crecimiento y desarrollo, así como, analizar en términos ambientales la presión que ejerce la extracción de estos recursos energéticos en el país. Adicionalmente, se delimita esta unidad de análisis, para profundizar en el sector de combustibles fósiles en términos de ecoinnovación.

En cuanto a la delimitación geográfica del estudio, esta corresponde de una parte, al país en conjunto, y de otra, a sus entes territoriales (Departamentos) de forma individual, en especial a los departamentos productores de petróleo, gas natural y carbón.



Mapa 1. Departamentos de Colombia

Nota. Elaborado por el Autor.

⁹⁶ Cabe precisar que los combustibles fósiles hacen parte de los recursos naturales energéticos que puede ser definidos como toda sustancia sólida, líquida o gaseosa, de la cual se puede obtener energía a través de diversos procesos, además, en un sentido amplio corresponden a la categoría de recursos naturales, los cuales pueden definirse como los bienes y servicios producidos por la naturaleza (minerales, alimentos, servicios ecológicos, etc) y que no han sufrido alteraciones o transformaciones previas por parte del ser humano (OLADE, 2011). El anexo 1, presenta algunas precisiones relacionadas con las definiciones de los combustibles fósiles con el fin de delimitar el tipo de recurso natural y su instrumentalización como variable, que será utilizada en los análisis empíricos.

⁹⁷ De igual forma se pone el énfasis en estos combustibles puesto que representan la mayor proporción en la generación de energía primaria en el País, además de su importancia regional a nivel interno y su representatividad en la oferta de exportación a nivel externo.

Asimismo, se incluye en la descripción geográfica los departamentos no productores con el fin de estudiar las diferencias entre regiones. Se ha decidido diferenciar estos dos niveles de análisis (nacional y regional) con el propósito de obtener un mayor nivel de desagregación y detalle, así como estudiar las particularidades de cada región y su evolución en conjunto.

El mapa 1 presenta la división política administrativa del País la cual está conformada por 32 departamentos; de éstos en nueve no se presenta producción de hidrocarburos (Amazonas, Atlántico, Caldas, Chocó, Guainía, Guaviare, Quindío, Risaralda, San Andrés Y Providencia, y Vaupés), mientras que en los otros veintitrés departamentos si existe producción de hidrocarburos y/o carbón.

Por último el horizonte temporal del estudio corresponde al período 1990-2012, aunque en algunos casos, debido a la exigencia de los métodos empíricos, la cobertura se extiende a las tres últimas décadas.

1.4.3. Herramientas de análisis y fundamentos teóricos utilizados

De acuerdo a la estructura metodológica dividida en dos dimensiones “económico-social y ecológico-ambiental”, los métodos cuantitativos utilizados para el desarrollo de la investigación han sido seleccionados conforme a su capacidad para contrastar las hipótesis planteadas y cumplir con los objetivos propuestos en cada dimensión del estudio. En este sentido para el primer caso, *dimensión económico-social*, el objetivo es “establecer los impactos de los combustibles fósiles en la economía, identificando los factores condicionantes y mecanismos de transmisión relacionados con el crecimiento y desarrollo económicos”. Para llevar a cabo este objetivo y contrastar las hipótesis se utilizan cuatro referentes teóricos: la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets, la hipótesis de la relación entre energía y desarrollo, la hipótesis del pico de los recursos naturales no renovables y la hipótesis de la maldición de los recursos. Cabe mencionar que el soporte cuantitativo de estos referentes para contrastar las hipótesis planteadas se realiza a través de la utilización de un conjunto de herramientas econométricas y de la modelación a través de la dinámica de sistemas. En cuanto al segundo caso, *dimensión ecológico-ambiental*, los objetivos son “identificar el comportamiento y evolución del flujo de materiales, los indicadores de input, consumo y output, la balanza comercial física y la relación de términos de intercambio ecológicamente desigual asociado a los combustibles fósiles y su relación con el proceso de desarrollo del país,

de igual forma, se busca establecer los factores y mecanismos que posibilitan la conexión entre ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de recursos naturales energéticos y, especificar la contribución de los RNE en las tendencias de desmaterialización y desacoplamiento de la economía colombiana.” En este caso el soporte cuantitativo para contrastar las hipótesis consiste en la aplicación de los indicadores de resultado del AFM, así como la relación de los términos de intercambio y la modelación econométrica a través de ecuaciones simultáneas.

A continuación se describen brevemente los fundamentos teóricos de los métodos y variables utilizados por cada componente; se comienza presentando los métodos y fundamentos teóricos empleados en la dimensión económico-social y posteriormente se hace lo mismo con la dimensión ecológico-ambiental, además se justifica la elección de cada método para el desarrollo de cada componente o referente teórico utilizado.

Métodos, fundamentos teóricos y variables utilizados en la dimensión económico-social:

Como se mencionó al inicio de este numeral para este bloque se utilizan cuatro referentes teóricos: la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets, la hipótesis de la relación entre energía y desarrollo, la hipótesis de la maldición de los recursos y la hipótesis del pico de los recursos naturales no renovables. Para los tres primeros referentes o componentes del análisis se ha empleado la metodología econométrica⁹⁸ mientras que para el último se ha utilizado la dinámica de sistemas⁹⁹.

El cuadro 12 presenta una representación breve de los métodos y variables utilizados en cada componente. Puesto que los tres primeros referentes involucran el análisis de series de tiempo se tomó como punto de partida el procedimiento estándar encontrado en la literatura, es decir, que se estableció en primer lugar el orden de integración de las series vinculadas en el

⁹⁸ La finalidad de esta metodología es aplicar métodos estocásticos que permitan inferir el valor de los parámetros correspondientes a las variables de interés, con el propósito de explicar el comportamiento de una variable sujeta a varios controles o variables explicativas incluidas, así como, estimar el valor futuro de una variable o establecer relaciones de equilibrio de largo plazo (cointegración) y relaciones de causalidad. El soporte teórico que sustenta esta metodología se compone de dos corrientes, la econometría teórica que expone y valida las técnicas econométricas utilizadas en las aplicaciones empíricas (Gujarati & Porter, 2010), y la teoría económica, la cual sirve de referente para establecer la forma funcional a través de la cual se relacionan las variables, así como la definición de las propias variables a involucradas en el análisis.

⁹⁹ Esta metodología tiene como fin el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos que permiten analizar el comportamiento, la sensibilidad y los efectos a través del tiempo, de las múltiples interacciones de los elementos contenidos en un sistema, lo cual permite realizar y estudiar modelos de simulación dinámica.

análisis econométrico; para esto se emplearon dos pruebas de raíz unitaria: Dickey-Fuller Aumentada (Dickey & Fuller, 1979) y Phillips-Perron (Phillips & Perron, 1998), y además se aplicó la prueba de estacionariedad KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, & Shin, 1992) con el propósito de dar mayor evidencia sobre la estacionariedad de las variables. Después de determinar el orden de integración $I(d)$ para cada serie se comprobó que todas tuvieran el mismo orden de integración, con el fin de evitar la presencia de resultados espurios en los modelos realizados. Posteriormente se realizaron las aplicaciones de los modelos y sus respectivas pruebas de diagnóstico para comprobar la correcta especificación de los modelos y de sus parámetros. Para el último referente se siguió la metodología de la dinámica de sistemas en la que se parte de la elaborando un diagrama causal del problema o fenómeno objeto de estudio (identificando las variables de stock, los flujos y las relaciones de retroalimentación) y posteriormente se modeló la tendencia de largo plazo de las variables objeto de análisis a partir de la especificación de una función logística.

Cuadro 12. Métodos utilizados en el bloque económico-social

Referente Teórico	Respaldo metodológico
Curva Ambiental de Kuznets	<p>Tipo de herramienta: Modelación econométrica</p> <p>Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios</p> <p>Forma funcional: $C_t = f(Y, Z)$</p> <p>Tipo de modelo: Cúbico</p> <p>Modelo econométrico: $C_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + Z + \varepsilon_t$</p> <p>E: Variable que expresa el nivel de contaminación (e.g. emisiones de CO₂)</p> <p>Y: Variable que representa el nivel de ingreso (e.g. nivel de PIB)</p> <p>Z: Set de variables que representa otros controles (e.g. Población, exportaciones, etc.)</p>
Relación entre Energía y Desarrollo	<p>Tipo de herramienta: Modelación econométrica</p> <p>Método: Modelos VAR y VECM</p> <p>Forma funcional: $Y_t = f(K_t, L_t, E_t, CO2_t)$</p> <p>Tipo de modelo: Logarítmico</p> <p>Modelo econométrico: $\ln Y_t = \alpha \ln K_t + \omega \ln L_t + \gamma \ln E_t + \theta \ln CO2_t$</p> <p>Y: Variable que representa el nivel de ingreso (e.g. nivel de PIB)</p> <p>K: Capital (e.g. inversión o formación bruta de capital fijo)</p> <p>L: Empleo (e.g. fuerza laboral)</p> <p>E: Energía (e.g. consumo de energía de combustibles fósiles)</p> <p>CO₂: Contaminación (e.g. emisiones de CO₂)</p>
Maldición de los Recursos	<p>Tipo de herramienta: Modelación econométrica</p> <p>Método: Modelo de datos de panel dinámicos (system GMM) y modelos uniecuacionales por variables instrumentales</p> <p>Forma funcional: $\Delta y = f(RA, Q)$</p> <p>Tipo de modelo: Función lineal</p> <p>Modelo econométrico: $\ln \Delta y_{(i,t)} = \alpha + \phi \ln y_{(i,t-1)} + \varphi RA_{(i,t)} + \beta X_{(i,t)} + \eta_i + \varepsilon_{i,t}$</p> <p>i: Son diferentes países; t: periodos (definido en años)</p> <p>$\ln \Delta y_{(i,t)}$: Diferencia logarítmica entre los valores observados en los periodos t y t – 1, del PIB real per cápita</p> <p>$\ln y_{(i,t-1)}$: Logaritmo del PIB real per cápita rezagado un periodo</p> <p>$RA_{(i,t)}$: Variable que captura la dependencia de recursos naturales (e.g. proporción de</p>

	<p>las exportaciones sobre el PIB o sobre las Exportaciones totales)</p> <p>$X_{(i,t)}$: Es un set de variables de control adicionales</p> <p>α: Es la constante; φ, ϕ y β son parámetros a estimar</p> <p>η_i y $\varepsilon_{i,t}$: Son componentes de un único término de error</p>
Pico de los Recursos Naturales No Renovables	<p>Tipo de herramienta: Simulación</p> <p>Método: Dinámica de sistemas</p> <p>Forma funcional: $Q_{(t)} = \frac{Q_{\infty}}{[1+e^{-a(t-t_{max})}]}$ y $Q'_{(t)} = \frac{dQ_{(t)}}{dt} = \frac{aQ_{\infty}e^{-a(t-t_{max})}}{[1+e^{-a(t-t_{max})}]^2}$</p> <p>Tipo de modelo: Función logística y su derivada</p> <p>Modelo: Ver anexo 7</p> <p>$Q_{(t)}$: Curva de producción acumulada</p> <p>$Q'_{(t)}$: Curva de producción</p> <p>Q_{∞}: Límite de reservas</p> <p>a: Constante de aproximación</p> <p>t_{max}: Período en el que la producción acumulada alcanza la mitad del límite de las reservas</p> <p>t: Año del pico del recurso</p>

Nota. Elaborado por el Autor.

En cuanto a la comprobación de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets se empleó un modelo de regresión cúbico puesto que éste permite una mayor flexibilidad en el análisis a través del tiempo al incorporar dos puntos de quiebre generando una relación en forma de “N” para los parámetros analizados (Tarazona, 1999), en contraposición a los modelos cuadráticos que únicamente reflejan el comportamiento de una parábola, forma de “U” invertida, que presentan un menor alcance y dinámica en el tiempo. Se parte de la especificación de un modelo cúbico del tipo:

$$C_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + Z + \varepsilon_t \quad (6)$$

Donde C es un parámetro ambiental de referencia, las Y representan el nivel de ingreso, y Z corresponde a otros controles. Esta especificación se basa en el planteamiento teórico de Forster descrito por Selden y Song (1994), y Tarazona (1999) en el que el objetivo es maximizar la utilidad descontada en el tiempo sujeta a alguna restricción, la cual está en función del consumo y la contaminación (emisiones de CO_2), y esta última a su vez está en función del stock de capital y de los gastos de mitigación, de manera tal que en los primeros estados de crecimiento el consumo y la contaminación son bajos, y en la medida que se avanza en la senda de crecimiento (impulsado por la inversión y el consumo), la contaminación se incrementa considerablemente, por lo que al alcanzar cierto nivel de ingreso los países empiezan a preocuparse por descontaminar, puesto que la utilidad del consumo disminuye a la vez que los gastos en descontaminación se elevan de forma relevante (Forster, 1973; Selden & Song, 1994; Tarazona, 1999). La justificación de la utilización de esta metodología consiste en la ventaja de poder realizar un análisis dinámico de largo plazo al incluir más de un punto

de quiebre en la función de la curva de Kuznets, lo cual permite contrastar el cumplimiento de la hipótesis de la CAK más allá de un determinado nivel de ingreso.

Para la relación entre Energía y Desarrollo se utilizaron varios enfoques de estimación basados en herramientas de series de tiempo con el fin de presentar evidencia robusta sobre los resultados. En este sentido para los análisis en los que se quiso probar las relaciones de causalidad y cointegración se utilizaron el estimador de Mínimos Cuadrados Completamente Modificados¹⁰⁰ (Pedroni, 2000, 2001, 2004; Phillips & Hansen, 1990) y el enfoque de modelos de vectores autorregresivos y de corrección del error VAR y VECM (Johansen, 1988; Johansen & Juselius, 1990; Sims, 1980, 1981).

En el caso de los modelos dinámicos (regresión de cointegración) el estimador de Mínimos Cuadrados Completamente Modificados de Phillips & Hansen (1990), Pedroni (1999, 2000, 2004), y la prueba de cointegración de Phillips & Ouliaris (1990), se utilizan para examinar la existencia una relación de largo plazo entre las series. Este método es eficiente para obtener estimaciones objetivas de la relación a largo plazo cuando las variables son no estacionarias I (1) (Chi & Baek, 2011). En este caso se parte de la comprobación de que todas las series presentan el mismo orden de integración (existencia de raíz unitaria), y posteriormente se realiza el modelo y la(s) prueba(s) de cointegración. Una diferencia importante con el estimador de MCO es que FMOLS no requiere que las series sean estacionarias, por lo que se requiere simplemente un modelo estándar de la forma:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

Donde y_{it} es la variable dependiente I(1), x_{it} es un vector de variables explicativas también I(1). Después de realizar el modelo con la especificación anterior se aplica la prueba de cointegración, la cual si resulta ser significativa ($\alpha < 0.05$) se rechaza la hipótesis nula de no cointegración, es decir, que las variables están cointegradas. Este método como se mencionó antes es eficiente ante la presencia de series no estacionaria y posibles problemas de endogeneidad, sin embargo, una limitación de esta técnica es que a pesar de que encuentre evidencia de una relación de largo plazo entre las variables (cointegración), que confirma la existencia de una relación de causalidad entre las mismas al menos en una dirección, no es

¹⁰⁰ El estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios Completamente Modificados (o FMOLS por su sigla en inglés) es un estimador adecuado en presencia de series con raíces unitarias (no estacionarias), puesto que conservan las propiedades de consistencia y corrigen la posible endogeneidad en el modelo.

posible especificar la dirección de dicha causalidad (Behmiri & Pires, 2014; Engle & Granger, 1987). Para reforzar los resultados derivados de las estimaciones con FMOLS, se utilizan modelos VAR y VECM, los cuales no sólo permiten identificar la ecuación de cointegración sino que además permiten establecer la presencia de causalidad de largo y corto plazo, así como el sentido de dicha causalidad. Además permite realizar un análisis de descomposición de la varianza y un análisis impulso-repuesta.

En el caso de los modelos VAR como primer paso se realizan las pruebas de Dickey-Fuller Aumentada, Phillips-Perron y KPSS para probar la estacionariedad de las series y definir el orden de integración, en segundo lugar, se especifica un modelo VAR no restringido:

$$x_t = A_1 x_{t-1} + A_2 x_{t-2} + \dots + A_q x_{t-q} + \varepsilon_t \quad (8)$$

Donde todas las variables endógenas (x_t) del sistema dependen de los rezagos de sí misma y de los rezagos de las demás variables (representadas por $x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-q}$), A son matrices $n \times n$ de coeficientes, y ε_t es el término de error (Jahangir Alam, Ara Begum, Buysse, & Van Huylenbroeck, 2012; Soren Johansen & Juselius, 1990). Después de realizar las pruebas correspondientes a la estabilidad del modelo, rezago óptimo, exogeneidad, autocorrelación, heteroscedasticidad y normalidad de los residuos. Si las pruebas de diagnóstico validan el modelo se aplica el procedimiento de Máxima Verosimilitud al VAR estimado con el fin de determinar el rango (r) de cointegración del sistema. Siguiendo la metodología tradicional de los modelos VAR, se transforma el modelo VAR en un modelo VECM:

$$\Delta y_t = \mu_0 + \prod y_{t-m} + \sum_{i=1}^m \mu_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (9)$$

Donde Δ es el operador de primera diferencia, y_t vector de variables endógenas e integradas de orden $I(1)$, \prod es una matriz ($N \times N$) de la forma $\prod = \alpha \beta^T$, donde α y β son matrices de Rango completo ($N \times N$) y ε_t es un vector ($N \times 1$) de términos de errores normal e independientemente distribuido. Además la matriz α se interpreta como la velocidad de ajuste de cada variable para recuperar la posición de equilibrio en el largo plazo cuando se produzcan desviaciones en dicho equilibrio y la matriz β recoge las r relaciones de cointegración (Mata, 2004, p. 55).

Una vez realizado el paso anterior la metodología de Johansen propone analizar el rango de estimación de la matriz Π a través de dos pruebas: prueba de la traza y prueba del máximo valor propio, utilizando los estadísticos de contraste:

$$\lambda_{trace} = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i^2) \quad (10)$$

$$\lambda_{max}(r, r + 1) = -T \ln(\ln(1 - \lambda_{r+1})) \quad (11)$$

Donde λ_i es el orden estimado del valor propio obtenido a partir de la matriz estimada y T es el número de observaciones que pueden utilizarse después de ajustar el retardo. El estadístico de la traza prueba la hipótesis nula de que las variables que componen el vector y_t tienen un máximo de r relaciones de cointegración frente a la alternativa de que existe más de r relaciones de cointegración. Por su parte la prueba del máximo valor propio prueba la hipótesis nula de que el número de vectores de cointegración es r frente a la alternativa de r + 1 vectores de cointegración. Si las pruebas de traza y máximo valor propio permiten identificar que existe una relación de cointegración se puede realizar el modelo VECM y realizar las pruebas de causalidad de largo y corto plazo.

La argumentación de por qué se utiliza esta metodología y no otra es que precisamente a través de ésta se puede establecer las relaciones de causalidad de largo y corto plazo, así como la dirección de la causalidad, que de otro modo no es posible. Esto es especialmente relevante para probar la hipótesis de la relación entre energía y desarrollo. Además, con la aplicación de estas técnicas se puede realizar estimaciones del valor futuro de los parámetros de interés, así como análisis de impulso respuesta y descomposición de la varianza.

Por otra parte, para el referente de la Maldición de los Recursos la técnica escogida fueron los modelos de datos de panel dinámicos con el estimador de *GMM System* (método generalizado de momentos en sistema). Esta metodología es adecuada para modelos que implican la estimación de la tasa de crecimiento de la variable endógena, que a su vez aparece como regresora con un determinado número de retardos, y puede ser descrita de la siguiente forma (Morales-Torrado, 2011):

$$y_{it} = \eta_i + \sum_{j=1}^n \beta_0 y_{it-j} + \beta_1 x_{it} + v_i + u_{it} \quad (12)$$

Con:

$i = 1, 2, \dots, N; \quad t = 1, 2, \dots, t$

Donde:

y_{it} : es la variable endógena

y_{it-j} : son los retardos de la variable endógena

x_{it} : es un conjunto de variables independientes

i : son las unidades de sección cruzada o individuos

η_i : es un término idiosincrático no estocástico para cada individuo

t : es la unidad de tiempo

v_i y u_{it} : corresponden a un término de error normal y un término de perturbación idiosincrática

Para un modelo de estas características las metodologías tradicionales de datos panel (efectos fijos o efectos aleatorios) a través de MCO no se puede aplicar, puesto que produce estimaciones sesgadas e inconsistentes, incluso si las perturbaciones aleatorias no presentan correlación serial, dado que por construcción, el efecto no observable (η_i) está correlacionado con los retardos de la variable dependiente (y_{it-j}). Para solucionar este inconveniente Arellano & Bond (1991) construyen un estimador basado en el Método Generalizado de los Momentos (GMM), que utiliza variables instrumentales basadas en los rezagos y diferencias de todas las variables del modelo. El modelo a estimar planteado por Arellano y Bond es:

$$y_{it} = \beta_0 y_{it-1} + \beta_1 x_{it} + \beta_2 w_{it} + v_i + e_{it} \quad (13)$$

Donde w es un vector de variables predeterminadas o endógenas, sin embargo, el término v_i sigue correlacionado con y_{it-1} , por lo que también se estima el modelo en primeras diferencias.

$$\Delta y_{it} = \Delta \beta_0 y_{it-1} + \Delta \beta_1 x_{it} + \Delta \beta_2 w_{it} + \Delta e_{it} \quad (14)$$

Donde Δ es el operador de primera diferencia, no obstante, Δy_{it-1} también está correlacionado con Δe_{it} . Para corregir esto Arellano & Bover (1995) y Blundell & Bond (1998) presentan un estimador sistemático *GMM System* para obtener estimaciones insesgadas (Montero, 2010).

La razón por la que se ha seleccionado este método es que éste permite tener estimadores consistente y eficientes, al corregir los posibles problemas de endogeneidad de la variable dependiente que otros métodos como los modelos de datos de panel de efectos fijos y efectos

aleatorios, o de variables instrumentales no corrigen, por lo que pueden conducir a sesgos y estimaciones erróneas.

Para la comprobación del pico de los recursos naturales no renovables se utilizó la metodología de dinámica de sistemas a través de diagramas de Forrester que representan modelos continuos a partir de la especificación de la función logística o curva de Hubbert. La representación básica del modelo se presenta en la siguiente figura.

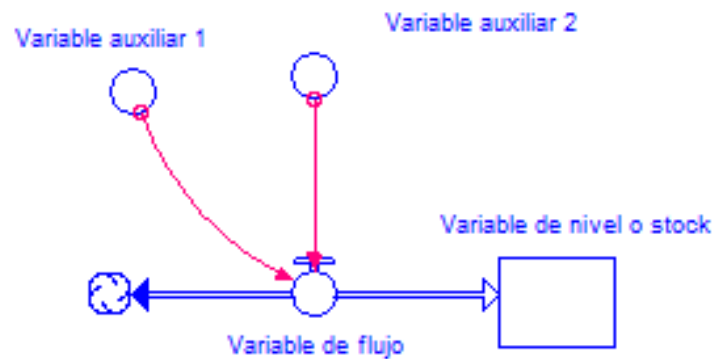


Figura 13. Representación gráfica de la curva de Hubbert en dinámica de sistemas

Nota. Elaborado por el Autor.

La estructura matemática detrás de esta representación se basa en el cálculo diferencial por lo que las variables de stock corresponden a la integral de sus flujos acumulados y las variables de flujo corresponden a la derivada respecto al tiempo de la propia variable, formalmente:

$$Stock(t) = \int_{t_0}^t (flujo\ de\ entrada(t) - flujo\ de\ salida(t))dt + Nivel(t_0) \quad (15)$$

$$\frac{d(Stock(t))}{dt} = flujo\ de\ entrada(t) - flujo\ de\ salida(t) \quad (16)$$

A partir de este planteamiento se especifica dentro del modelo las ecuaciones para cada recurso energético, por lo que se obtiene un sistema de ecuaciones diferenciales¹⁰¹, el cual es modelado para simular el comportamiento dinámico de la curva de Hubbert (ver anexo 7).

La justificación en la utilización de esta herramienta radica en la flexibilidad de modelar a través de la dinámica de sistemas la función logística que representa la curva de Hubbert,

¹⁰¹ El desarrollo de este sistema de ecuación requiere el uso de herramientas computacionales, por lo que para este apartado se utilizó el software iThink, versión 10.1.2.

integrando un sistema complejo de ecuaciones y retroalimentaciones positivas y negativas¹⁰² a través de variables de flujo y stock, lo cual permite hacer simulaciones dinámicas de las variables en horizontes temporales extensos, así como análisis de sensibilidad.

En cuanto al respaldo teórico de las variables utilizadas en cada uno de estos componentes, se presenta a continuación un cuadro resumen con las variables y métodos utilizados de forma relevante en la literatura.

Cuadro 13. Variables y métodos de estimación para el bloque económico-social

Autor	Variables	Método de Estimación
Para la hipótesis la curva ambiental de Kuznets		
(Grossman & Krueger, 1995)	PIB per cápita Contaminación del aire (dióxido de azufre, oxígeno disuelto) Contaminación por metales pesados en ríos (nitratos, coliformes fecales, coliformes totales, arsénico, mercurio, níquel)	Panel (MCO)
(Tarazona, 1999)	PIB per cápita constante Emisiones de CO ₂ Legislación ambiental	Panel (MCO)
(Ravallion et al., 2000)	PIB per cápita constante Emisiones de CO ₂ Población Coeficiente de Gini	Panel (MCO)
(Canas et al., 2003)	PIB per cápita constante en PPA Input Directo de Materiales	Panel (MCO)
(Cole, 2004)	PIB per cápita constante Exportaciones de productos contaminantes como proporción de las exportaciones totales a países no pertenecientes a la OCDE. Dióxido de carbono (CO ₂), óxidos de nitrógeno (NO _x), dióxido de azufre (SO ₂), monóxido de carbono (CO), partículas en suspensión (PM), compuestos orgánicos volátiles (COV) y demanda biológica de oxígeno (DBO)	Panel (MCO)
(Caviglia-Harris et al., 2009)	PIB per cápita constante Huella ecológica	Panel (MCO) Panel (MC2E)
(Kleemann & Abdulai, 2013)	PIB per cápita constante Consumo de clorofluorocarbonos Emisiones de contaminantes orgánicos del agua Uso de energía Intensidad del comercio exterior Logaritmo de la densidad poblacional	Panel (MCO)
Para la relación entre energía, medioambiente y desarrollo		
(Masih & Masih, 1997)	Ingresos Precios Consumo de energía	VAR y pruebas de cointegración y causalidad
(Stern, 2000)	PIB Capital trabajo Consumo de energía	VAR y pruebas de cointegración y causalidad
(Huang et al., 2008)	PIB real Consumo de energía	GMM System en Panel

¹⁰² Por la extensión de esta metodología no se presenta el soporte teórico en este apartado, sin embargo puede encontrarse una descripción detallada de este método en Fishwick (2007), y D. Meadows (2009).

	Formación bruta de capital como porcentaje del PIB Población Deflactor del PIB	
(Soytas & Sari, 2009)	PIB Capital trabajo Consumo de energía Emisiones de CO ₂	VAR y prueba de cointegración e impulso respuesta
(Barreto & Campo, 2012)	PIB Capital trabajo Consumo de energía	FMOLS en Panel y prueba de cointegración
(Jakovac, 2013)	PIB real Consumo de energía	VAR, VECM, y pruebas de cointegración y causalidad
(Jammazi & Aloui, 2015)	PIB real Consumo de energía Emisiones de CO ₂	VAR y pruebas de cointegración y prueba de causalidad
Para la hipótesis de la curva de Hubbert		
(Hubbert, 1956)	Producción acumulada Últimas reservas recuperables Petróleo, gas natural y carbón	Curva logística
(Al-Husseini, 2006)	Producción acumulada Últimas reservas recuperables Petróleo, gas natural y carbón	Curva logística
(Maggio & Cacciola, 2009)	Producción acumulada Últimas reservas recuperables Petróleo y GNL	Curva logística
(Lin & Liu, 2010)	Producción acumulada Últimas reservas recuperables Carbón	Curva logística Curva de Gauss
(Brecha, 2012)	Producción acumulada Últimas reservas recuperables Petróleo	Curva logística
(Maggio & Cacciola, 2012)	Producción acumulada Últimas reservas recuperables Petróleo, gas natural y carbón	Enfoque individual de curva logística Enfoque múltiple de curva logística
Para la hipótesis sobre la maldición de los recursos		
(Sachs & Warner, 1995)	Tasa de crecimiento del PIB real PIB per cápita PPA 1970 Participación de las exportaciones primarias en el PIB Apertura (economía abierta) Inversión domestica sobre PIB Índice de eficiencia burocrática, entre otras.	Panel (MCO) y variables instrumentales.
(Papyrakis & Gerlagh, 2004)	Logaritmo del PIB per cápita real 1975 Cuota de la producción mineral en el PIB Índice de percepción de la corrupción Inversión doméstica Apertura comercial	Panel (MCO)
(Stijns, 2005)	Logaritmo del PIB per cápita real 1970 Reservas de petróleo, gas natural, carbón y minerales per cápita Tierra per cápita	Panel (MCO)
(Brunnschweiler & Bulte, 2008)	Logaritmo de la tasa de crecimiento del PIB per cápita real 1970 Logaritmo del PIB per cápita real 1970 Participación de las exportaciones de materias primas agrícolas en el PIB Medida de la calidad de la burocracia y de los servicios públicos Medida de combustible y 35 minerales no energéticos Términos de intercambio Promedio de años de escolaridad en secundaria	Panel mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E) y tres etapas (MC3E)
(Frederick van	Logaritmo del PIB per cápita real 1970	Panel (MCO) y variables

der Ploeg & Poelhekke, 2010)	Participación en el PIB de las exportaciones de minerales Valor de las exportaciones de combustibles fósiles anuales totales Apertura comercial Forma de gobierno Calidad en la contratación Inversión doméstica como porcentaje del PIB Años de escolaridad población mayor a 25 años	instrumentales
(Arezki & van der Ploeg, 2011)	Logaritmo del PIB per cápita real Logaritmo de la inversión doméstica per cápita Exportaciones de bienes primarios sobre PIB Apertura comercial Índice de corrupción Riesgo de expropiación	Panel (MCO) y variables instrumentales

Nota. Elaborado por el Autor.

Del cuadro 13, se desprende que las variables relevantes para la modelación de la curva ambiental de Kuznets son el PIB per cápita, las emisiones de CO₂ y otros controles como la población, la desigualdad y las exportaciones, por lo que estas variables han sido seleccionadas para la modelación de este componente. Por su parte, para la modelación de la relación ente energía, medioambiente y desarrollo, las variables de uso frecuente en la literatura son el PIB total o per cápita en términos reales y el consumo de energía, además varios trabajos incluyen controles derivados de la teoría del crecimiento como el capital y el trabajo, por lo que para la modelación de la relación entre energía y desarrollo se utilizan todas estas variables. En cuanto a la comprobación de la hipótesis de la maldición de los recursos las variables relevantes seleccionadas son las exportaciones de recursos naturales medidas como proporción del PIB y el ingreso medido como PIB per cápita real, además se incluyen varios controles derivados de la teoría económica del crecimiento, así como desde la postura institucional. Entre este set de variables se destacan el capital medido como la participación de la inversión en el PIB, la fuerza laboral, el grado de apertura, la relación de los términos de intercambio, el estado de derecho, las libertades políticas y civiles, y el índice de corrupción. Finalmente para la modelación de la hipótesis del pico de los recursos naturales se encontró que las variables relevantes en la literatura son la producción acumulada de los recursos energéticos y el volumen máximo de reservas recuperables, por lo que estas variables fueron seleccionadas para este componente.

Métodos, fundamentos teóricos y variables utilizados en la dimensión ecológico-ambiental

Para este bloque la metodología empleada consistió en la utilización de varios métodos derivados de la economía ecológica y la ecología industrial, como el análisis del flujo de materiales y sus indicadores de input y output, la balanza comercial física, y los términos de

intercambio ecológicamente desigual, además se utiliza la modelación econométrica a partir de ecuaciones simultáneas para establecer la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia. El cuadro 14 presenta una representación breve de los métodos y variables utilizados en cada componente de esta dimensión de análisis.

Cuadro 14. Métodos utilizados en el bloque ecológico-ambiental

Referente Teórico	Respaldo metodológico
Análisis de Flujo de Materiales AFM	<p>Tipo de herramienta: Saldos contables del AFM Método: Indicadores Forma funcional: $M = \sum_{i=1}^n (\text{saldos contables de materiales})$</p> <p>M: Flujos de materiales (biomasa, combustibles fósiles, minerales industriales y de construcción, y minerales metálicos.</p>
Indicadores relacionados con el AFM	<p>Tipo de herramienta: Indicadores de productividad y eficiencia de materiales Método: Indicadores de estado de input, consumo y output Forma funcional:</p> $\text{Ind. Productividad}_t = \frac{\text{ind. económico}_t}{\text{ind. físico}_t}$ $\text{Ind. eficiencia}_t = \frac{\text{ind. físico}_t}{\text{ind. económico}_t}$ $\text{Ind. Productividad acum.} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{ind. económico})}{\sum_{i=1}^n (\text{ind. físico})}$ $\text{Ind. eficiencia acum.} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{ind. físico})}{\sum_{i=1}^n (\text{ind. económico})}$ <p>Ind. Productividad: Indicadores de productividad Ind. Eficiencia: Indicadores de eficiencia Ind. Productividad acum.: Indicadores de productividad acumulada Ind. Eficiencia acum.: Indicadores de eficiencia acumulada Ind. Económico: PIB real Ind. Físico: IDM, CDM, Outputs (e.g. emisiones de CO₂)</p>
Balanza comercial física	<p>Tipo de herramienta: Input-Output Método: Diferencia entre entradas y salidas de materiales Forma funcional:</p> $\text{BCF} = \sum_{i=1}^n (\text{Inputs}) - \sum_{i=1}^n (\text{Outputs})$ <p>BCF: Balanza comercial física Input: Entradas de materiales Output: Salidas de materiales</p>
Relación de términos de intercambio ecológicamente desigual	<p>Tipo de herramienta: Indicador de relación precio-volumen Método: cociente entre precio y toneladas exportadas Forma funcional:</p> $\text{TIED}_t = \frac{\text{Vr. de exportación}_t}{\text{Ton exportada}_t}$ <p>TIED: Términos de intercambio ecológicamente desigual Vr. de exportación: Valor total de las exportaciones de recursos energéticos en dólares constante de 2005 Ton exportada: Volumen total de toneladas exportadas de recursos energéticos</p>

Ecoinnovación Ecoeficiencia	<p>Tipo de herramienta: Modelación econométrica Método: Ecuaciones simultáneas Forma funcional:</p> $Y_{1i} = \beta_{10} + \beta_{12}Y_{2i} + \gamma_{11}X_{1i} + u_{1i}$ $Y_{2i} = \beta_{20} + \beta_{21}Y_{1i} + \gamma_{21}X_{2i} + u_{2i}$ <p>Tipo de modelo: Mínimos Cuadrados en Tres Etapas (MC3E) Modelo econométrico:</p> $GE = f(inv, or) \qquad PE = f(inv, ex)$ $inv = \beta_0 + \beta_1 invcti + \beta_2 or \qquad inv = \alpha_0 + \alpha_1 invtotal + \alpha_2 ex$ $or = \beta_3 + \beta_4 rcf + \beta_5 ied \quad (30) \qquad ex = \alpha_3 + \alpha_4 prod + \alpha_5 pc$ <p>inv: inversiones or: Proporción de IED y regalías destinadas a CTI ex: Exportaciones de combustibles fósiles invcti: Inversiones de CTI en recursos energéticos rcf: Proporción de regalías para CTI ied: Proporción de IED destinada a CTI invtotal: Proporción de la inversión total prod: Producción de combustibles fósiles pc: Precio de los combustibles fósiles</p>

Nota. Elaborado por el Autor.

Con relación a la determinación de los saldos contables del Análisis de Flujo de Materiales y de sus indicadores relacionados, así como para establecer la balanza comercial física, que hacen parte de los componentes de análisis en la dimensión ecológico-ambiental, se siguió la metodología del análisis del flujo de materiales y de la balanza comercial física de Eurostat (2001), este enfoque permite evaluar el estado de los recursos y el grado presión sobre los procesos naturales (Haberl et al., 2004), además de las presiones ambientales derivadas de los patrones de comercio internacional (Pérez, 2003, 2006a). El método sigue un enfoque estándar para la construcción de los flujos de inputs directos e indirectos de materiales, así como de los outputs, por lo que la utilización de variables, instrumentos e indicadores es muy homogénea en la literatura. Con base en lo anterior, la construcción de las cuentas ambientales y los distintos indicadores asociados al AFM siguen puntualmente la metodología mencionada, lo cual permite establecer comparaciones directas con los resultados encontrados en la literatura empírica¹⁰³.

Para el capítulo tres se tomó como referencia los saldos contables del AFM relacionados con los combustibles fósiles y con base en estos se construyeron los indicadores de productividad y eficiencia de materiales, utilizando para su cálculo las expresiones de los dos primeros bloques

¹⁰³ En el ítem 1.2.2.1., se presenta una descripción resumida de esta metodología, sin embargo, para una explicación más detallada de la metodología se pueden consultar los manuales de Eurostat (2001); INE (2010).

del cuadro 14. Por su parte, para el desarrollo del capítulo cuatro se utiliza la metodología de la balanza comercial biofísica (BCF) y la relación de términos de intercambio ecológicamente desigual (bloques 3 y 4 del cuadro 14). En este caso la BCF se registra como la diferencia entre las importaciones menos las exportaciones¹⁰⁴ de materiales, mientras que para los términos de intercambio ecológicamente desigual su cómputo consistió en tres etapas: i) expresar la serie histórica de la inflación en términos de índices con base 2005, ii) expresar la serie de precios corrientes de las exportaciones totales de cada combustible fósil en términos de dólares constantes de 2005 y iii) obtener el valor medio por tonelada exportada en términos constantes. Metodológicamente la conversión de la inflación en números índice se realizó de la siguiente forma: se estableció 2005 como el año base, por lo que el valor de la inflación para este año se expresó como 100, ecuación (17), para los datos de la inflación anterior al año base se transformó la serie utilizando la ecuación (18), y para los datos de inflación posteriores al año base se utilizó la ecuación (19). Posteriormente para transformar el valor de las exportaciones totales de dólares corrientes a dólares constantes de 2005 se utilizó la expresión (20). Finalmente se obtiene el valor medio por tonelada exportada en dólares constantes, ecuación (21).

$$\text{índice}_t = \text{inf}_{t=2005} = 100 \quad (17)$$

$$\text{índice}_{t-1} = \frac{\text{inf}_{t-1}}{1 + \text{índice}_t} \quad (18)$$

$$\text{índice}_{t+1} = \frac{\text{inf}_{t+1}}{1 - \text{índice}_t} \quad (19)$$

$$\text{Expt. US\$}_{\text{constantes}} = \frac{\text{Expt. US\$}_{\text{corrientes}}}{\text{índice de inflación}} \times 100 \quad (20)$$

$$\text{Vr. medio por tonelada exportada} = \frac{\text{Expt. US\$}_{\text{constantes}}}{\text{Toneladas exportadas}} \quad (21)$$

¹⁰⁴ Conceptualmente las importaciones de materiales (Recursos naturales extraídos del medio físico) indica que el medio ambiente local no ha sufrido alteraciones, deterioro o pérdidas, por lo que se consideran una ganancia ambiental, mientras que las exportaciones de materiales indica que el medio ambiente local ha sufrido alteraciones o menoscabo de su funciones ecológico-ambientales, por lo que se consideran una pérdida ambiental. De esta forma si la BCF es negativa, indica que se ha exportado más recursos naturales de los importados, y por tanto el deterioro ambiental o pérdida del capital natural es mayor a causa del comercio internacional.

Por último, en el capítulo cinco se utiliza el análisis de regresión de ecuaciones simultáneas para establecer la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de combustibles fósiles. Se parte de la estimación a través de ecuaciones simultáneas, puesto que *a priori* se define la hipótesis de dependencia mutua entre la ecoinnovación y ecoeficiencia. En este sentido la metodología de ecuaciones simultáneas parte de la definición de un sistema de ecuaciones estructurales como por ejemplo:

Donde:

$y_t = y_{1t} + y_{2t} \dots y_{Gt}$ Son las variables endógenas

$x_t = x_{1t} + x_{2t} \dots x_{Gt}$ Son las variables exógenas (predeterminadas)

$u_t = u_{1t} + u_{2t} \dots u_{Gt}$ Son las perturbaciones aleatorias

El sistema anterior representa un sistema de ecuaciones simultáneas llamado modelo estructural¹⁰⁵ que no puede ser resuelto por el método tradicional del estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), puesto que puede causar estimadores inconsistentes debido a la naturaleza endógena de las variables (Pérez, 2011; Pindyck, Rubinfeld, & Arellano, 2001). Para resolver este inconveniente se puede utilizar varias técnicas, aunque su elección depende de la identificación del sistema, es decir, establecer si el sistema (ecuaciones) está identificado, subidentificado o sobreidentificado¹⁰⁶, lo cual se realiza a través de las condiciones de orden y/o de rango; una vez identificado el sistema se puede utilizar alguno de los métodos de estimación de ecuaciones simultáneas, tales como los métodos de información limitada o los métodos de información completa (Gujarati & Porter, 2010).

Siguiendo la línea argumental de Pérez (2011) el sistema anterior puede ser expresado de forma matricial y transformado en la forma reducida como se describe a continuación:

Notación matricial del sistema en forma estructural

$$Ay'_t + Bx'_t = u'_t \quad (23)$$

Donde A es la matriz de coeficientes de las variables endógenas y B la matriz de coeficientes de las variables predeterminadas. Este modelo puede ser escrito en forma reducida expresando cada una de las variables endógenas y_{it} en función de las variables predeterminadas (endógenas rezagadas y exógenas), y de las perturbaciones aleatorias, de forma tal que:

$$Ay'_t + Bx'_t = u'_t \Rightarrow A^{-1}Ay'_t + A^{-1}Bx'_t = A^{-1}u'_t \Rightarrow y'_t = -A^{-1}Bx'_t + A^{-1}u'_t \quad (24)$$

Si de la última expresión se hace $\pi = -A^{-1}B$ y $v = A^{-1}u'_t$, que corresponden respectivamente, a una matriz de coeficientes de orden G x K y a un vector de variables aleatorias de orden G x I, se obtiene la ecuación matricial en forma reducida:

¹⁰⁵ Un modelo de ecuaciones simultáneas se caracteriza por presentar un sistema de ecuaciones estructurales y su derivación en ecuaciones en forma reducida, las primeras reciben este nombre debido a que su forma está dada por la teoría subyacente, y se caracterizan por presentar las variables endógenas en ambos lados de la ecuación en al menos dos de las ecuaciones del sistema, mientras que las ecuaciones en forma reducida se caracterizan porque sólo aparecen variables predeterminadas del lado derecho de las ecuaciones.

¹⁰⁶ Esto cual implica que el número de coeficientes de la forma reducida sean iguales, menores o mayores, a los coeficientes de la forma estructural.

Cuadro 15. Variables y métodos de estimación para el bloque ecológico-ambiental

Autor	Variables	Método de Estimación
Para el Análisis del Flujo de Materiales y sus indicadores relacionados		
(Bringezu, Schütz, & Moll, 2003; Bringezu, Schütz, Steger, & Baudisch, 2004)	EDU IDM CDM RTM PIB per cápita	AFM
(Weisz et al., 2006)	EDU CDM PIB per cápita	AFM
(Behrens et al., 2007)	EDU Indicadores de intensidad de materiales	AFM
(Krausmann et al., 2009)	EDU CDM PIB per cápita Suministro de energía primaria Indicadores de intensidad de materiales	AFM
(West & Schandl, 2013)	EDU CDM Indicadores de intensidad de materiales	AFM
Para la Balanza Comercial Física		
(Pérez, 2003)	Importaciones de materiales Exportaciones de materiales	BCF
(Russi et al., 2008)	IDM Importaciones de materiales Exportaciones de materiales	BCF
(Vallejo, 2010)	CDM Indicadores de intensidad de materiales Importaciones de materiales Exportaciones de materiales	BCF
(Dittrich et al., 2012)	Importaciones de materiales Exportaciones de materiales Flujos indirectos de materiales	BCF
Para la Relación de Términos de Intercambio Ecológicamente Desigual		
(Pérez, 2003, 2006)	Valor medio de las exportaciones de materiales Valor medio de las importaciones de materiales	TIED
(Vallejo et al., 2011)	EDU Importaciones de materiales Exportaciones de materiales Valor medio de las exportaciones de materiales Valor medio de las importaciones de materiales	BCF y TIED
Para Ecoinnovación y Ecoeficiencia		
(Dahlström & Ekins, 2005)	Productividad de materiales Productividad de la energía Eficiencia de materiales Eficiencia de la energía Intensidad de la contaminación	Indicadores de eficiencia material
Wagner (2008)	Productos y procesos con innovación	modelos probit y logit multivariados
Ziegler & Seijas Nogareda (2009)	Productos y procesos con innovación Normas ISO 9001, 14001 y EMAS IED Exportaciones	modelos probit univariado y bivariado
Kemp & Pontoglio	Bombillas de bajo consumo Aislamiento de la cámara	Modelos logit y poisson

(2011)	Caldera de condensación Doble acristalamiento Edad Género Ingreso Opinión sobre productos con ecoinnovación	
(Dieckhöner, 2012)	Modernizaciones de la vivienda Nivel de ingreso Tipo de hogar Relación de subvenciones	MCO con variables dicotómicas Modelo probit Modelo de diferencias en diferencias
(Y. Yu et al., 2013)	PIB Consumo de energía EDU Emisiones	Indicadores de eficiencia material

Nota. Elaborado por el Autor.

AFM: Análisis del Flujo de Materiales; BCF: Balanza Comercial Física; TIED: Términos de Intercambio Ecológicamente Desigual; MC3E: Mínimos Cuadrados en Tres Etapas.

Teniendo en cuenta las variables de mayor utilización en la literatura (cuadro 15), se tomó como referencia los saldos contables e indicadores relacionados del AFM para la aplicación de los métodos cuantitativos del capítulo tres, de igual forma se utilizan las exportaciones, importaciones y valor medio por tonelada exportada para la construcción del capítulo cuatro. Por último, se emplean algunas de las variables de uso común en la literatura de ecoinnovación y ecoeficiencia, como exportaciones, inversión e indicadores de eficiencia e innovación, no obstante, se utiliza un método alternativo a los métodos encontrados en la revisión de la literatura para definir la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia en combustibles fósiles.

1.4.4. Estructura de la investigación

La investigación profundiza el estudio de la relación de los combustibles fósiles y el nivel de desarrollo de Colombia, así como el vínculo de la ecoinnovación en el sector de los combustibles fósiles; esta relación se análisis desde dos enfoques complementarios: dimensión económico-social y dimensión ecológico-ambiental. Estas dos dimensiones se estructuran operativamente en seis capítulos, en el primer capítulo se presenta el marco teórico y conceptual, así como la revisión del estado de arte entre combustibles fósiles y desarrollo. También se presenta la metodología y las herramientas empíricas para el análisis. El capítulo dos aborda el estudio desde la dimensión económico-social, realizando un análisis a nivel nacional y departamental de la relación entre combustibles fósiles y desarrollo, para ello se seleccionan las variables relevantes tanto para los factores económicos, como para los sociales y ambientales. Los capítulos tres y cuatro aborda el estudio desde la dimensión ecológico-

ambiental, en este punto se realiza un análisis del grado de presión ambiental y del metabolismo socioeconómico del país, así como del comportamiento ambiental derivado de los patrones de comercio internacional, presentando un énfasis en el caso de los combustibles fósiles. En el capítulo cinco se realiza un análisis empírico de la conexión entre ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de combustibles fósiles con el propósito de identificar los factores y mecanismos que incentivan procesos de ecoinnovación y ecoeficiencia que permitan lograr un desacoplamiento de recursos e impactos de los combustibles fósiles. Finalmente el capítulo seis presenta las conclusiones y marco de aplicación de la investigación.

CAPÍTULO SEGUNDO

2. RECURSOS NATURALES ENERGÉTICOS —COMBUSTIBLES FÓSILES— Y DESARROLLO EN COLOMBIA. IMPACTOS Y DINÁMICA REGIONAL

“En el largo plazo el desarrollo del propio sistema económico trae consigo cambios en las instituciones, en la disponibilidad de los recursos naturales y en las relaciones productivas, que a su vez afectan a la estructura y relaciones que determinan el rumbo futuro de la senda de crecimiento”.

Michal Kalecki, 1964.

2.1. CONTEXTO DE LOS DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES EN COLOMBIA

Este capítulo tiene como finalidad contextualizar la actividad productiva, así como la evolución histórica de los energéticos de origen fósil tanto en el nivel nacional como en el nivel departamental para identificar los aspectos relevantes del sector productivo de los combustibles fósiles y su incidencia socioeconómica en el país y las asimetrías regionales. Asimismo se presenta un análisis empírico desde varios enfoques¹⁰⁹ que respalda la descripción anterior y permite examinar la relación entre los combustibles fósiles y el nivel de desarrollo nacional y regional.

2.1.1. Antecedentes de los recursos naturales energéticos: Marco regulatorio, evolución y situación actual del petróleo, gas natural y carbón.

La actividad extractiva de recursos naturales energéticos cuenta con un largo recorrido en la economía nacional, especialmente en el caso del petróleo, del cual inició su explotación de

¹⁰⁹ Los análisis empíricos se basan en los referentes teóricos de la curva ambiental de Kuznets, curva de Hubbert, la hipótesis de la maldición de los recursos y el nexo entre combustibles fósiles, energía y desarrollo.

manera formal a principios del siglo XX (1905) con *la Concesión de Mares*¹¹⁰ y *el contrato Barco* (Perry et al., 2012; Vasquez, 2012). En cuanto al gas natural y el carbón, el inicio de operaciones en estos recursos se presenta aproximadamente a mediados del siglo pasado. Para el caso del gas natural, en particular el gas natural asociado, por ser un hidrocarburo asociado al petróleo crudo su extracción se realiza de forma conjunta, sin embargo, este gas fue considerado en el país como un subproducto de la explotación del crudo, y era quemado en los campos petroleros (Guerrero & Llano, 2003), sólo hasta 1961 con la aparición de la Ley 10 de ese año y la posterior ratificación en el decreto 1873 de 1973, el gas asociado fue reconocido como un hidrocarburo de valor y se prohibió puntualmente su quema, por lo que se puede considerar el inicio formal de su producción en la década de los setenta. En cuanto al carbón, si bien existen referencias de su explotación en el siglo XIX para la operación del sistema ferroviario y como insumo de algunas industrias, sólo se dispone de datos de producción a partir de 1940 reportados por la UPME¹¹¹, dicha producción se concentraba básicamente en los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Valle del Cauca (Arias, 2015).

Por otra parte, el comportamiento histórico de la producción y reservas de los combustibles fósiles ha contado con varias etapas, iniciando con bajos niveles y tasas de crecimiento moderadas en las primeras décadas de explotación; comportamiento asociado a los movimientos de la demanda externa, una incipiente demanda interna dada por el reducido tamaño del mercado y un sector industrial y energético poco desarrollados, así como la falta de incentivos desde el marco normativo para la explotación de los hidrocarburos y minerales. Por el contrario las últimas tres décadas han estado marcadas por un acelerado ritmo de crecimiento soportado en gran medida por la demanda internacional en el caso del petróleo y el carbón, y la expansión de la demanda interna del gas natural a partir de los cambios en la regulación en la década de los noventa.

En el caso del petróleo, la evolución histórica de las reservas y la producción presentan de forma general una tendencia creciente especialmente desde principios de la década de los ochenta, aunque se han presentado varios altibajos como el acelerado crecimiento de la

¹¹⁰ La forma inicial en la que se organizó la extracción de petróleo en Colombia fue a través del Contrato de Concesión, el cual consistió en contratos firmados entre el Estado y una empresa para efectuar, por cuenta propia y asumiendo la totalidad de los riesgos por parte de la última, todas las actividades relacionadas con la exploración técnica y explotación económica de los recursos naturales minero energéticos de propiedad de la Nación (MMEC, 2003).

¹¹¹ Unidad de Planeación Minero Energética.

producción y reservas entre principios de los años ochenta y finales de los noventa, o la acusada declinación tanto de la producción como de las reservas en el período 1999-2008. Con el inicio de la producción con las Concesiones de Mares y Barco, desde la década de los veinte se presenta un progresivo aumento en la producción anual impulsado por importantes inversiones en el sector con el oleoducto Infantas y la refinería de Barrancabermeja (Perry et al., 2012), mientras que en 1931 se dio un primer impulso al desarrollo de la industria petrolera con la ley 37 de ese año, con la cual se inició el otorgamiento de Contratos de Concesión en el país y la producción mantuvo un crecimiento constante aunque moderado hasta principios de la década de los setenta (figura 14). En este intervalo de tiempo se crea la Empresa Colombiana de Petróleo -ECOPETROL-¹¹² de propiedad de la Nación y se da un segundo impulso al sector con la promulgación del código de petróleos (Decreto 1053 de 1953) que unificó los Decretos y Leyes del sector hidrocarburos, aunque no introdujo cambios significativos en la regulación (Perry et al., 2012).

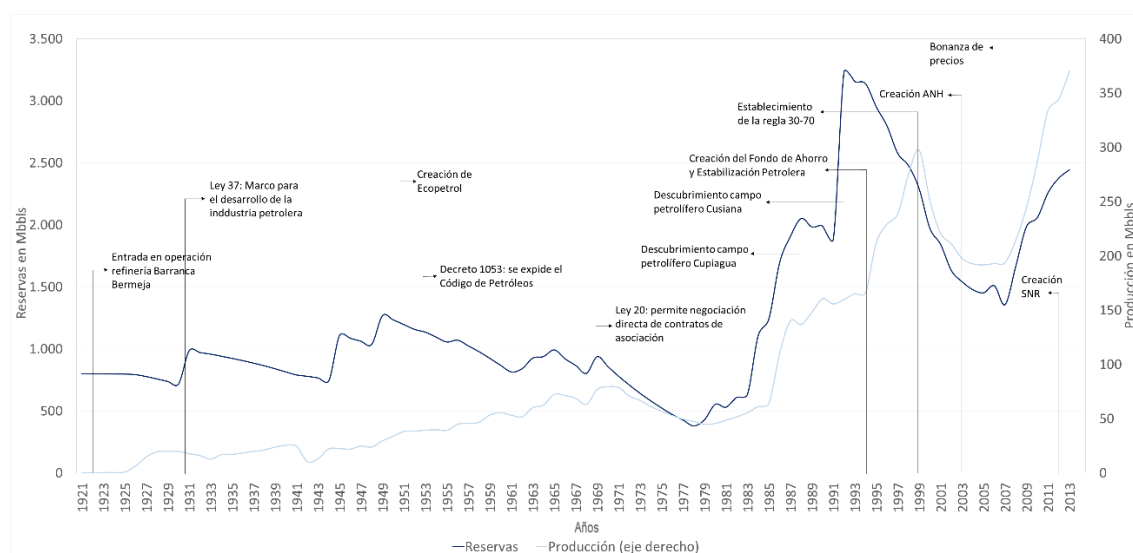


Figura 14. Reservas y producción histórica de Petróleo.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de “Petróleo y Minería ¿bendición o maldición?” por Perry y Olivera, 2012, p. 178-180, y de la información estadística de la Asociación Colombiana de Petróleo (base de datos: IEP, versión: septiembre 2015).

Mbbls: Millones de barriles por año.

En cuanto a las reservas su comportamiento desde los años veinte hasta finales de los sesenta no presenta una tendencia marcada de crecimiento debido a la falta de incentivos puesto que las dificultades y los extensos plazos en el otorgamiento de las concesiones desincentivaban la actividad exploratoria. Como consecuencia de lo anterior y a las condiciones internacionales,

¹¹² El 1931 termina la Concesión de Mares y se realiza la reversión de los activos y operaciones realizadas hasta entonces por la *Tropical Oil Company (Troco)*, por lo que se crea la Empresa Estatal ECOPETROL, para que asumiera las operaciones petroleras.

se aprobó la Ley 20 de 1969 que abrió las posibilidades de contratación petrolera a los contratos de asociación¹¹³ con el fin de incentivar la inversión extranjera y la producción. El cambio legislativo de 1969 estimuló una fase de crecimiento en el sector en términos de los contratos de asociación; bajo el esquema de contratos de asociación con reparto 50-50¹¹⁴ se pasó de 2 contratos firmados en 1970 a 20 en 1989 (Ávila & Cárdenas, 2006), alcanzando el mayor número de contratos firmados por año en 1985 con 33 contratos. En total se firmaron 289 contratos de asociación entre 1970 y 1989 bajo este tipo de contratación, aunque en términos de producción ésta se haya disminuido durante la década de los setenta debido a la crisis del petróleo y sólo hasta mediados de los ochenta se haya visto un repunte de la producción y las reservas como consecuencia de los descubrimientos de los campos petrolíferos de Caño Limón (1983), Cupiagua (1988) y Cusiana (1992). Sin embargo, las modificaciones posteriores en el reparto de las retribuciones de los contratos de asociación, alimentadas por el interés en una mayor captura de rentas petroleras hicieron que el número de contratos de asociación disminuyera.

En generar se presentaron cuatro modificaciones a los contratos de asociación en un período aproximado de treinta años, iniciando con el esquema de participación 50-50 entre 1974-1989, siguiendo con el esquemas 70-30 (producción escalonada) entre 1990-1994, que pretendía realizar un mejor reparto de la participación de Ecopetrol y los Asociados, la cual dependía de la producción acumulada; iniciando con un reparto 50-50 y a medida que se incrementaba la producción la participación de Ecopetrol aumentaba hasta 70%. Sin embargo, este tipo de contrato presentaba deficiencias que contribuyeron al desincentivo de la explotación (Perry et al., 2012).

En 1994 se realiza una nueva modificación y se incorpora el Factor R (ingresos sobre egresos del asociado), además de medidas que incentivaban la inversión como el reconocimiento de

¹¹³ El contrato de asociación vigente en este período comprometía a la empresa (socio) a asumir la totalidad de los costos de exploración, inversiones y riesgos hasta llegar a la fase de operación, momento en el cual la explotación se realizaba en forma conjunta, recibiendo como contraprestación el 50 por ciento de la distribución de ingresos después del pago de regalías, además de compartir en partes iguales los gastos de desarrollo y producción una vez las reservas fueran declaradas comercialmente viables.

¹¹⁴ Este esquema resultaba atractivo para las empresas extranjeras, puesto que a comienzos de los setenta la mayoría de países exportadores habían establecido participaciones nacionales entre 50%, 60% o 100% de la propiedad (Mommer, 2000), lo cual favorecía la inversión en Colombia a pesar de las estrictas condiciones en la contratación (Ávila & Cárdenas, 2006).

costos de exploración en los casos en los que los pozos resultaban secos¹¹⁵, sin embargo, las condiciones externas asociadas a los bajos precios de petróleo a finales de los noventa incidieron en una reducción de la exploración y la producción reflejado en la firma de un sólo contrato de asociación en 1999 (Ávila & Cárdenas, 2006). En ese mismo año se realiza la última modificación al contrato de asociación esquema 30-70, presentando condiciones aún más favor para la atracción de las inversiones en el sector petrolero, empezando por una participación de Ecopetrol del 30% y no de 50% como estaba establecido hasta ese momento, sin embargo, las reformas introducidas no mejoraron la competitividad del sector frente a los países productores de la región; mientras que la participación estatal en el sector petrolero era aproximadamente del 82%, en el resto de países productores de la región, en promedio, la participación estatal ascendía aproximadamente al 65% (Perry et al., 2012).

Nuevamente el marco regulatorio y las condiciones del mercado no incentivaron de forma significativa la actividad petrolera, lo cual se reflejó en una disminución de los contratos de asociación entre 2000 y 2002, y una disminución tanto de la producción como de las reservas entre 1999 y 2003; todo esto en un momento en el que los precios internacionales del petróleo experimentaban un boom, por lo que el país no pudo aprovechar la bonanza de precios de ese período.

En síntesis las distintas modificaciones institucionales y en la regulación no tuvieron el efecto esperado de potenciar significativamente la actividad petrolera en el país, además, desde 1999 la relación reservas sobre producción que indica el número de años disponibles para la explotación del hidrocarburo antes de su agotamiento, dado un nivel de reservas, producción y tecnología determinados se ha mantenido en promedio en 7,6 años para el último decenio, dejando ver los problemas futuros de autoabastecimiento. Del mismo modo, como se ha mencionado antes, las distintas modalidades del contrato de asociación no redundaron en un elevado número de contrato entre Ecopetrol y las empresas socias. La figura 15 muestra la evolución de la contratación en el sector petrolero en la que se puede apreciar una tendencia creciente de los contratos de asociación desde su entrada en vigor hasta mediados de los ochenta, para luego reflejar tendencias decrecientes en cada período de reformas hasta el año 2003 en el que se reestructura el sector de hidrocarburos.

¹¹⁵ En este año también se crea el Fondo Nacional de Regalías con la ley 141. El Fondo recibía los recursos disponibles de las regalías después del reparto de las regalías directas a municipios y departamentos productores así como a los municipios puerto, y financiaba proyectos de desarrollo en todo el territorio nacional.

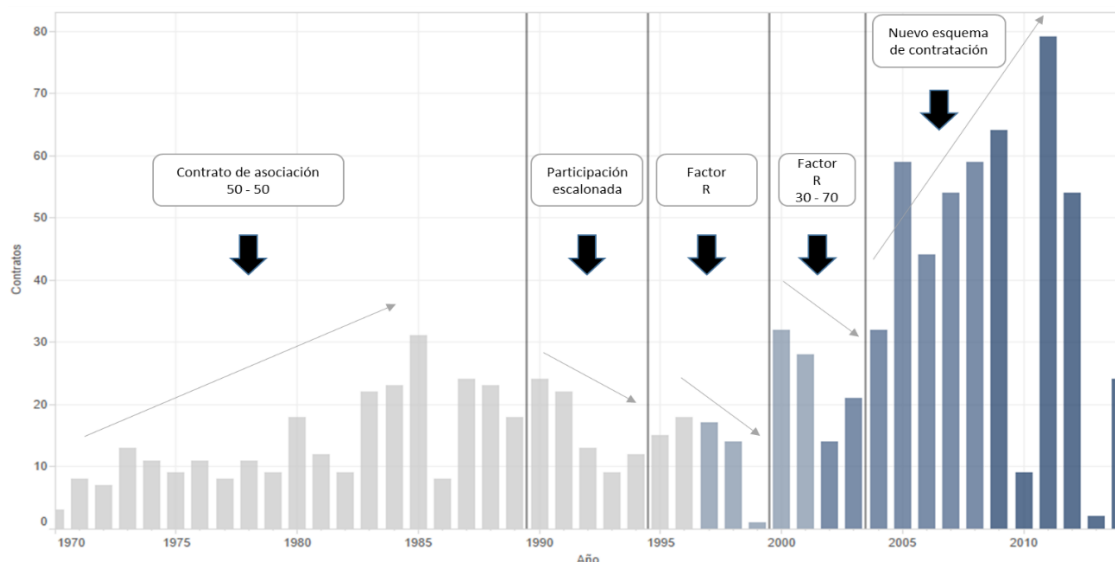


Figura 15. Contratos de asociación suscritos

Nota. Elaboración por el Autor a partir de “Petróleo y Minería ¿bendición o maldición?” por G. Perry y M. Olivera, 2012, p. 178, y de la información estadística de la Asociación Colombiana de Petróleo (base de datos: IEP, versión: septiembre 2015).

* A partir de 2004 se incluyen los contratos E&P y TEA's, contratos de exploración y producción, y contratos de evaluación técnica respectivamente.

El escenario deficiente en el número de contratos de exploración y producción, y la acusada caída de la producción entre 1999 y 2003, al igual que en las reservas entre 1993 y 2003 (figura 13), contribuyeron en la reestructuración del sector en 2003 a través del Decreto 1706 de ese año, en el que se escindió a Ecopetrol en tres entidades: i) Ecopetrol S. A., transformada en empresa comercial del Estado para dedicarse exclusivamente al negocio petrolero (exploración, perforación, producción, transporte, refinación y comercialización); ii) la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), a la que se le asignó las funciones de administrador y regulador de los recursos de hidrocarburos de la Nación, así como ser responsable de la política petrolera del país; y iii) la Sociedad Promotora de Energía de Colombia S.A., cuyo objetivo primordial era la participación e inversión en compañías relacionadas con las actividades del sector energético o afines. Adicionalmente en 2012 se creó el Sistema General de regalías (SGR) que contribuyó a darle un mayor impulso al sector y permitió hacer una mejor distribución de las regalías entre los departamentos.

El dinamismo dado al sector por las transformaciones realizadas y el nuevo esquema de contratación basado en Contratos de Concesión con menores restricciones y más atractivos

para la inversión extranjera, así como los cambios en la distribución de regalías reactivaron el sector, lo cual se puede apreciar en el rápido crecimiento de la producción, las reservas y el número de contratos firmados desde 2003 en adelante (figuras 14 y 15)¹¹⁶.

En cuanto al gas natural, la evolución de las reservas y la producción presentan comportamientos diferentes, mientras que las reservas han pasado de una fase de relativa estabilidad sin mayores cambios a una fase de rápido crecimiento entre 1990 y 2000, para luego presentar una tendencia decreciente hasta equipararse con los niveles existentes en la década de los ochenta como se puede apreciar en la figura 16. La producción por el contrario ha mantenido un ritmo constante de crecimiento a lo largo del período 1970 - 2012 (5,3% promedio anual), presentando un mayor dinamismo a partir de 1995 al pasar de una producción de 4,41 MMMC en ese año a casi triplicar la producción con 11, 98 MMMC¹¹⁷ producidos en 2012.

La lenta evolución tanto de las reservas como de la producción en las dos primeras décadas de la serie se debe al tardío desarrollo del gas natural en el país; este atraso se explica en parte a factores como el desplazamiento del gas natural por el petróleo y el carbón como fuentes de combustible, un mercado reducido y la falta de un marco regulatorio y una política sectorial que incentivaran su explotación. Estas condiciones se reflejan en la reducida infraestructura y demanda del gas natural en el país dado que sólo hasta principios de la década de los setenta se inicia la construcción del primer oleoducto, el cual es construido en la Costa Atlántica para satisfacer la demanda industrial de esa zona del país (Guerrero & Llano, 2003) y la distribución de gas natural en la ciudad de Barranquilla. Posteriormente en 1986 con el fin darle un impulso al sector del gas natural se introdujo el primer *Plan Nacional de uso general del gas natural* para incentivar la demanda interna, sin embargo, los bajos volúmenes de reservas y los subsidios a los recursos energéticos limitaron el alcance de ese plan.

¹¹⁶ Asimismo el comportamiento de la inversión en el sector petrolero a seguido la misma trayectoria de la evolución del número de contratos, es decir, que ha presentado un crecimiento entre 1970 y 1980, y una tendencia decreciente a lo largo del período de las modificaciones al contrato de asociación, para posteriormente reflejar otra tendencia de crecimiento con la nueva forma de contratación (contratos de concesión) a partir de 2003 (Londoño, 2010).

¹¹⁷ Miles de millones de metros cúbicos.

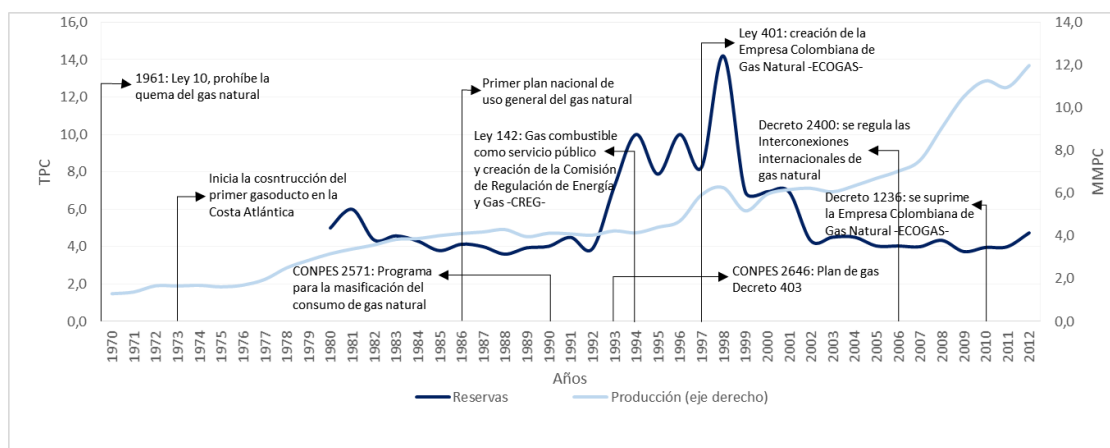


Figura 16. Reservas y producción histórica de Gas Natural.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de información estadística de la ACP (base de datos: IEP, versión: septiembre 2015).

TPC: Trillones de pies cúbicos.

MMPC: Miles de millones de pies cúbicos.

Cuatro años después se realizó otra transformación en el sector implementando el programa para la masificación del consumo de gas (CONPES 2571 de 1990) que trazó una política energética orientada a estimular la participación de agentes privados en la construcción de gasoductos troncales, además, durante la década de los noventa se introdujeron varios cambios en el sector orientados a promover una matriz de consumo energético más eficiente y un mayor uso del gas natural y gas licuado de petróleo (GLP) en los sectores productivo (industrial y comercial) residencial (hogares) y energético (termoeléctricas). Además, se estableció el *Plan de Gas* (Decreto 408 de 1993) que estimulaba la construcción de más gasoductos para la conformación de un sistema de transporte de gas natural que conectara las zonas productoras con los centros de consumo en el país (Guerrero & Llano, 2003). Asimismo, en 1994 se promulgó la Ley 142 que definió, de una parte, el marco normativo para la prestación de servicios públicos domiciliarios¹¹⁸, y de otra parte, el marco tarifario (creación de la Comisión de Regulación de Energía y Gas –CREG–) con el propósito de garantizar la masificación del consumo del gas natural.

Adicionalmente en 1997, a través de la Ley 401 se separó la actividad del transporte del gas de ECOPETROL y se creó bajo la misma Ley la Empresa Colombiana de Gas –ECOGAS– como una Empresa Industrial y Comercial del Estado para encargarse del transporte del gas y,

¹¹⁸ Tanto el gas natural como el GLP están definidos como gas combustible para el servicio público.

“administrar y controlar, operar y explotar comercialmente los sistemas de gasoductos en el interior del país” (Guerrero & Llano, 2003, p. 124).

Todos estos cambios se presentaron en un período en el que las reservas de gas natural se incrementaron de forma acelerada pasando de 4,32 TPC en promedio entre 1980 y 1992, a 8,93 TPC entre 1993 y 2000, debido principalmente por las adiciones de reservas producidas en el departamento de La Guajira seguido del departamento de Casanare. En resumen, la orientación de incentivar la demanda interna de gas natural entre la década del os setenta y noventas y la adaptación de un marco normativo eficiente contribuyeron a un buen desarrollo de este sector, como lo indica la UPME en un informe sobre la cadena productiva del gas natural en Colombia, al resaltar que desde la implementación de todas la medidas antes comentadas y hasta 2005, la demanda interna ha ascendido a cerca de 3.700.000 usuarios en todo el país, cubriendo 384 municipios y se ha construido 3,6003 kms de gasoductos (UPME, 2006).

Con relación al carbón la producción mantuvo un bajo nivel y un comportamiento constante desde la década de los cuarenta¹¹⁹ hasta mediados de los ochenta, como se puede observar en la figura 17. Esta tendencia estuvo asociada principalmente al comportamiento de la demanda interna representada mayoritariamente por el consumo de carbón para el transporte ferroviario, las industrias ladrillera y de cemento, y los hornos de sal, además, la concentración de la producción en departamentos del interior del país (Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Valle) dificultaba el transporte y acceso a los puertos para la exportación del carbón, por lo que la producción en este período cubría esencialmente la demanda interna. Adicional a lo anterior el sector no tuvo un notable desarrollo normativo sino hasta el decenio de los setenta.

Las primeras cuatro décadas no presentaron modificaciones relevantes en la normatividad, y la producción como se mencionó antes no presentó un notable desarrollo, no obstante, al igual de en la actividad petrolera y de gas, los primeros cambios en la legislación se presentaron en los años setenta¹²⁰; entre finales de la década de los sesenta y mediados de los setenta se crearon dos empresas de referencia para adaptar el sector a las condiciones del mercado: en

¹¹⁹ Las cifras oficiales de producción están disponibles a partir de 1940, mientras que para las reservas las cifras están disponibles sólo a partir de 1993.

¹²⁰ La crisis del petróleo que tuvo repercusión a escala mundial incidió en que se activara la demanda internacional del carbón como recurso energético estratégico, lo que permitió que Colombia iniciara los cambios normativos y la adaptación del sector para entrar en la minería de gran escala de carbón con el fin de abastecer los mercados internacionales.

1968 se crea la Empresa Colombiana de Minas (ECOMINAS)¹²¹ y en 1976 se crea Carbones de Colombia (CARBOCOL), con el propósito de regular y realizar las actividades de exploración, explotación (desarrollo de las reservas), comercialización y reglamentar la actividad minera en el país, estos cambios en adición a la creciente demanda internacional dieron un impulso a la actividad carbonífera contribuyendo a incrementar la producción nacional a mediados de los años ochenta, sin embargo, los cambios legislativos más representativos se presentaron entre 1988 y 2001, los cuales dieron lugar a un rápido desarrollo del sector, que se reflejó en la inversión, la producción y las exportaciones, asimismo, el incremento en grandes volúmenes de reservas en la zona norte del país (departamentos del Cesar y La Guajira) ayudaron a que la producción mantuviera un acelerado ritmo de crecimiento a partir de los años noventa, con un crecimiento del 312,53% entre 1990 y 2014.

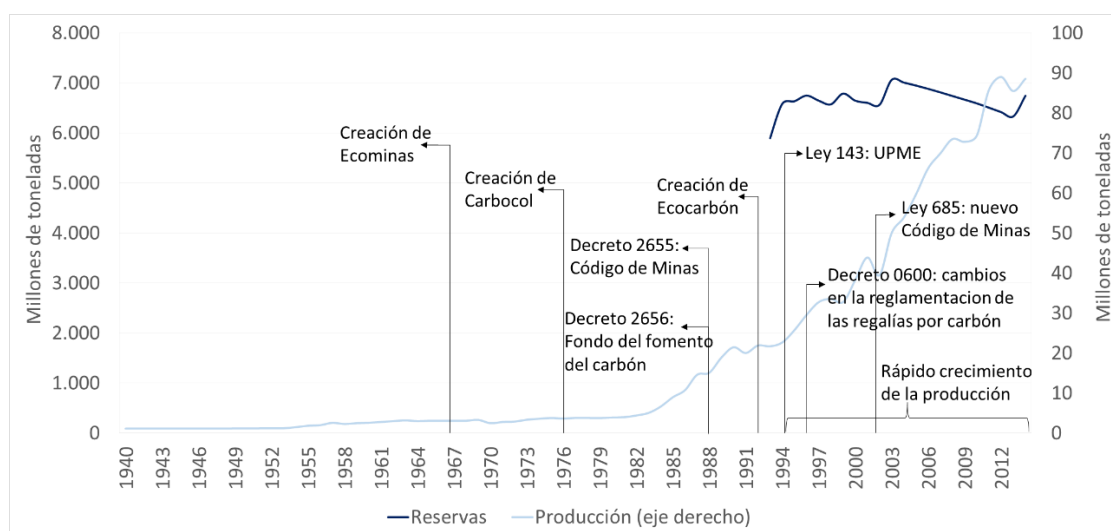


Figura 17. Reservas y producción histórica de Carbón.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de información estadística de la UPME (base de datos SIMCO^a).

^a Sistema de Información Minero Colombiano.

Entre los cambios más significativos se encuentran la creación del Código de Minas (Decreto 2655) y el Fondo del Fomento del Carbón (Decreto 2656) en 1988; el Código de Minas tuvo como finalidad fomentar la exploración y explotación de recursos minerales en el territorio nacional y en los espacios marítimos jurisdiccionales, así como incentivar el empleo y las inversiones en la industria minera y promover el desarrollo de las regiones en las que se realiza esta actividad. Mientras que el Fondo del Fomento del Carbón se creó como un sistema de manejo de los recursos provenientes de la actividad minera con el fin de incentivar proyectos y

¹²¹ En 1990 con la ley 2 se transforma Ecominas en Mineralco S.A., con el propósito de gestionar los proyectos mineros, la administración de los Fondos de Fomento Minero, y realizar las actividades de exploración, explotación y comercializar de todos minerales en el país.

programas de exploración, explotación, beneficio, transporte, embarque y comercialización del carbón a través de su financiación.

Estas medidas adoptadas contribuyeron al aumento de la producción en un momento en el que se incrementaba la demanda internacional de carbón, lo cual contribuyó, al despegue del sector carbonífero en el país con una marcada orientación exportadora. No obstante, el acelerado auge que experimentaba el sector condujo a otro cambio normativo con la creación de la Empresa Colombiana de Carbón (ECOCARBÓN) en 1992, cuya finalidad era el desarrollo de la industria minera del carbón¹²². Otra modificación importante en la estructura del sector se dio con el Código de Minas (Ley 685 de 2001) el cual permitió darle un mayor dinamismo al sector y regulando los tipos de contrato minero y facilitando el proceso para la inversión extranjera.

En cuanto a las reservas su tendencia se ha mantenido aproximadamente constante en especial en la década de los noventa, mientras que en la década del dos mil presentó una ligera disminución, aunque en términos generales no tuvo mayor repercusión tanto por la leve tasa de caída (-0,82% entre 2000 y 2010) como por el gran volumen de reservas, 6.702 millones de toneladas de reservas carboníferas en promedio entre 2000 y 2014, frente a 66.1 millones de toneladas producidas en promedio en el mismo período; producción que representa apenas un 1% de las reservas en ese período, además entre 2012 y 2014 las reservas presentan una tendencia creciente. Este elevado nivel de reservas, así como el comportamiento que exhiben se debe principalmente a la contribución que hacen los departamentos de la zona norte de país (Cesar y La Guajira) a las reservas totales.

Por otra parte, el contexto internacional también ha incidido en la evolución de los combustibles fósiles en el país, en este sentido la posición de Colombia frente a la producción, reservas y exportaciones es relativamente importante en el caso del carbón, seguido del petróleo y el gas natural. Con relación al carbón, Colombia es el país con mayores reservas de carbón en América Latina (UPME, 2004), y de acuerdo con los reportes *Coal Information* de la Agencia internacional de la energía (IEA), históricamente ha ocupado el décimo y decimoprimer puesto como productor mundial entre en las dos últimas décadas, además

¹²² En 1997 se fusionan Mineralco y Ecocarbon en una nueva empresa “Minercol” para encargarse de la administración de todos los recursos mineros y carboníferos, así como de la administración y el recaudo de las respectivas contraprestaciones económicas.

como se refleja en el cuadro 16, ha ocupado el quinto puesto como exportador de carbón a nivel mundial entre 2000 y 2014¹²³ (IEA, 2001, 2007, 2012a, 2015a).

Cuadro 16. Principales países exportadores de carbón

Puesto	País	2000	Puesto	País	2005	Puesto	País	2010	2014
1	Australia	87,8	1	Australia	106,4	1	Indonesia	267,2	410,9
2	Sudáfrica	67,5	2	Indonesia	90,9	2	Australia	292,6	375
3	China	48,2	3	Federación Rusa	66,5	3	Federación Rusa	132,8	155,5
4	Indonesia	48,1	4	Sudáfrica	71,9	4	Estados Unidos	74,1	88,3
5	Colombia	34,0	5	Colombia	55,3	5	Colombia	68,1	80,3
	Mundo	381,2		Mundo	549,4		Mundo	1077	1383,6

Nota. Elaborado por el Autor con base en los reportes de la IEA (2001, 2007, 2012a, 2015a). Cifran en millones de toneladas.

^{a, b} sólo incluye clasificación por carbón térmico. ^{c, d} incluye clasificación por carbón térmico y hulla.

En cuanto a la producción de gas natural, según los reportes *Natural Gas Information* de la IEA el país ha ocupado históricamente un puesto intermedio pasando del puesto 24 en 1971, al puesto 36 en 2010 (IEA, 2002a, 2012b, 2015c); este retroceso de 12 puestos en 39 años obedece como se explicó anteriormente, al escaso desarrollo de la industria de gas natural desde el inicio de su operación, así como la concentración de la producción para cubrir una demanda interna reducida. Sólo en los últimos años se ha presentado una tendencia creciente tanto de la producción como de las exportaciones debido principalmente a la demanda de gas natural por parte de Panamá desde 2007 y de Venezuela desde 2008, aun así en la actualidad el País sigue ocupando una posición intermedia como exportador manteniendo el puesto 34 entre 2010 y 2014 (IEA, 2015b, p. 44), por debajo de países como Trinidad y Tobago, Perú, Guinea Ecuatorial y Nigeria.

¹²³ Para inicios de la década del dos mil el país ocupaba el sexto puesto como exportador de carbón de hulla y quinto en carbón térmico, pasando ocupar el cuarto lugar en exportación de carbón térmico desde 2010 en adelante.

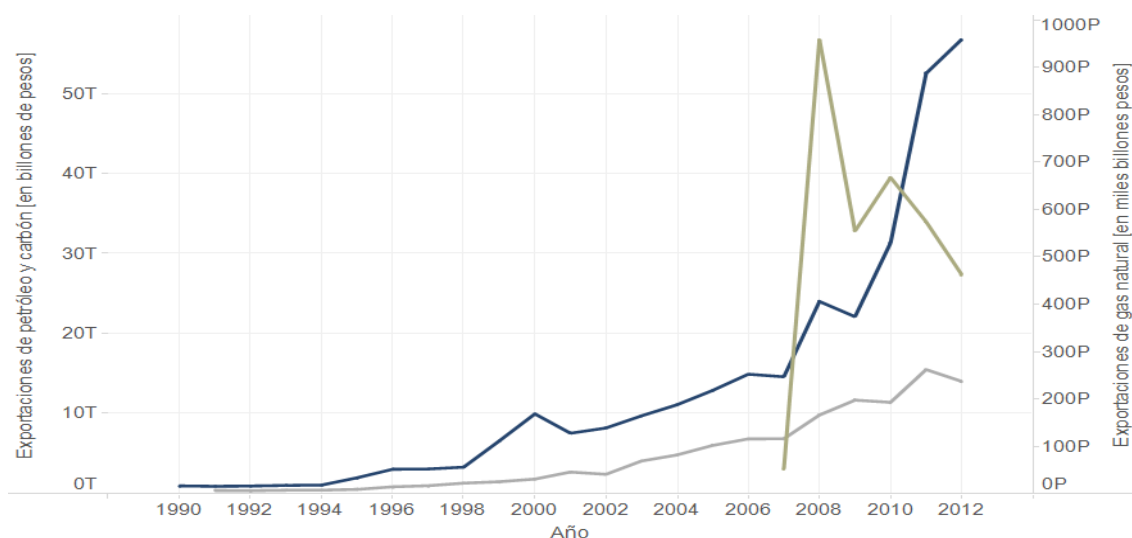


Figura 18. Exportaciones por tipo de combustible fósil

Nota. Elaborado por el Autor

A diferencia de las exportaciones de petróleo y carbón que hacen parte de las exportaciones tradicionales y llevan un largo recorrido, las exportaciones de gas natural iniciaron en 2007 (ver figura 18), sin embargo, entre 2007 y 2012 presentaron un extraordinario ritmo de crecimiento, pasando de 52.997 billones de pesos a 462.129 billones de pesos, lo cual representa un crecimiento del 772% de la exportaciones de gas natural en esos siete años.

Con relación al petróleo el País ha conservado históricamente una aposición destacada ubicándose entre los primeros 25 países tanto productores como exportadores de petróleo. De acuerdo a los reportes *Oil Infromation* de la IEA Colombia se mantuvo prácticamente invariable entre los principales países productores y exportadores, pasando de ser el productor 21 en 1971 a ocupar el puesto 22 en 2010, a la vez que pasó de ser el país exportador número 20 al 21 en el mismo período, lo que significó según datos de la IEA, pasar de 8.827 a 130.994 toneladas métricas producidas en estos años, es decir, una tasa de crecimiento de 1.384%. Además como se puede apreciar en la figura 17, a partir de 1994 el valor de las exportaciones de petróleo en pesos FOB inician una fase de crecimiento exponencial llegando a cuadruplicar el valor de las exportaciones de carbón en 2012, 56 y 14 billones de pesos respectivamente.

2.1.2. Distribución regional de los combustibles fósiles y su importancia en el balance energético nacional

En este apartado se presentan los rasgos principales de los departamentos asociados a los perfiles de producción y reservas *in situ*, con el fin de situar geográficamente los territorios

más relevantes en las actividades de up stream (exploración, producción y reservas)¹²⁴, y su relación en las asimetrías socioeconómicas entre departamentos productores y no productores. Además se presentan los aspectos generales del balance energético nacional y la relación de los combustibles fósiles como principal fuente de energía primaria con el propósito de situar su importancia en el contexto de la generación y matriz energética del país.

En primer lugar la ordenación geográfica relacionada con la explotación de los energéticos de origen fósil se encuentra asociada a las “cuencas sedimentarias”, en ellas se localizan extensas áreas de territorio donde se poseen la mayor cantidad de reservas probadas de hidrocarburos, y por tanto, estas cuencas cubren los departamentos con mayor producción petrolífera a nivel nacional. En Colombia existen 23 cuencas sedimentarias de las cuales 15 son no productoras, mientras que en 8 se producen hidrocarburos de las cuales en 6 cuencas (Llanos Orientales, Valle Inferior del Magdalena Valle Medio del Magdalena, Valle Superior del Magdalena, Catatumbo y Cordillera Oriental) se produce petróleo y gas natural, mientras que en la cuenca del Putumayo sólo se produce petróleo y en La Guajira se produce gas natural y carbón. Esto significa que en las siete cuencas petroleras se concentran 21 departamentos productores de petróleo, mientras que en 12 departamentos¹²⁵ se produce conjuntamente petróleo y gas natural como se puede observar en el cuadro 17.

Cuadro 17. Cuencas productoras de petróleo y gas natural

Cuenca / Departamento	Tipo de Recurso	
	petróleo	Gas
<u>Cuenca Llanos Orientales</u>		
Arauca	X	
Casanare	X	X
Meta	X	X
Vichada	X	
<u>Cuenca Valle Inferior del Magdalena</u>		
Bolívar	X	
Cesar	X	
Córdoba		X
Magdalena		X
Sucre	X	X
<u>Cuenca Valle Medio del Magdalena</u>		
Antioquia	X	X
Bolívar	X	X
Boyacá	X	
Cesar	X	X

¹²⁴ Este punto de la cadena productiva es relevante entre otros aspectos, por la incidencia en el valor y distribución de las regalías (Royalties), y su impacto en las regiones. Aspecto que será analizado en los siguientes numerales.

¹²⁵ La división político-administrativa de Colombia está dividida en 32 departamentos, es decir, que en 21 departamentos (66% de los entes territoriales) se concentra la producción de hidrocarburos.

Cundinamarca	X	
Norte de Santander	X	
Santander	X	X
<u>Cuenca Valle Superior del Magdalena</u>		
Cundinamarca	X	X
Huila	X	X
Tolima	X	X
<u>Cuenca Putumayo</u>		
Caquetá	X	
Cauca	X	
Nariño	X	
Putumayo	X	
<u>Cuenca Catatumbo</u>		
Norte de Santander	X	X
<u>Cuenca Cordillera Oriental</u>		
Boyacá	X	X
<u>Cuenca Guajira</u>		
La Guajira		X

Nota. Adaptado de Tamayo y Ramírez (2014).

Por otra parte de acuerdo a la UPME la dependencia de la producción por cuenca ha experimentado una gran transformación en los últimos 20 años, puesto que tras el descubrimiento de los campos de Cusiana (1989) y Cupiagua (1993) en el departamento del Casanare (Cuenca Llanos Orientales), la dependencia de la producción se ha desplazado de las cuencas del Valles Medio y Superior del Magdalena, y cuenca del Putumayo que históricamente fueron la principal fuente de suministro de este hidrocarburo durante el siglo pasado, a la cuenca Llanos Orientales que en los últimos diez años ha contribuido con más del 70% de la producción nacional (UPME, 2014a, p. 107).

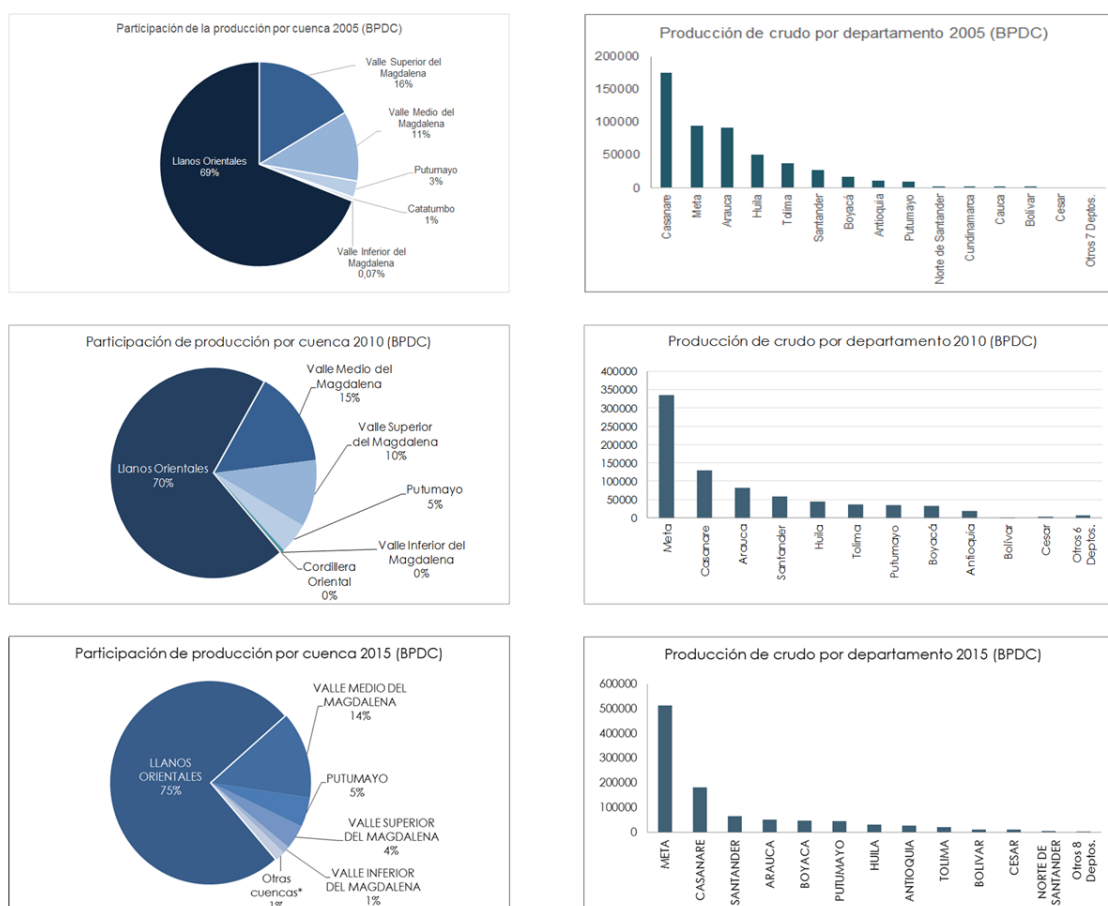


Figura 19. Participación y nivel de producción de petróleo por cuenca y departamento
 Nota. Adaptado de información estadística de la ACP (base de datos: IEP, versión: diciembre de 2015). Año 2005 elaborado por el Autor.

De acuerdo al Informe Estadístico Petrolero elaborado por la Asociación Colombiana de Petróleo, figura 19, se puede observar que la cuenca Llanos Orientales (departamentos de Meta, Arauca, Casanare y Vichada) pasó de representar el 69% al 75% de la producción de crudo entre 2005 y 2015 es decir que en la última década más del 70% de la producción se ha concentrado en 4 departamentos, y adicionando la producción las cuencas Valle Medio y Superior del Magdalena, estas cuatro cuencas concentran el 90% de la producción en los últimos 10 años. De otro lado, por volumen de producción los departamentos más importantes son Meta y Casanare los cuales en 2015 reportaron una producción de 512.623 y 181.350 BPDC¹²⁶, respectivamente.

En cuanto a la producción de gas natural está también ha sufrido un cambio importante; desde comienzos del nuevo siglo la participación de la producción del departamento de La Guajira

¹²⁶ Cifras con corte a agosto de 2015. Fuente: ACP, base de datos: IEP, versión: diciembre de 2015.

paso de representar más del 70% (72% en 2005)¹²⁷ a representar el 62 y 39% en 2010 y 2015, respectivamente. Esta disminución de la dependencia de la producción del departamento de La Guajira se debe principalmente al elevado desarrollo de la producción de gas en el departamento del Casanare (cuenca Llanos Orientales).

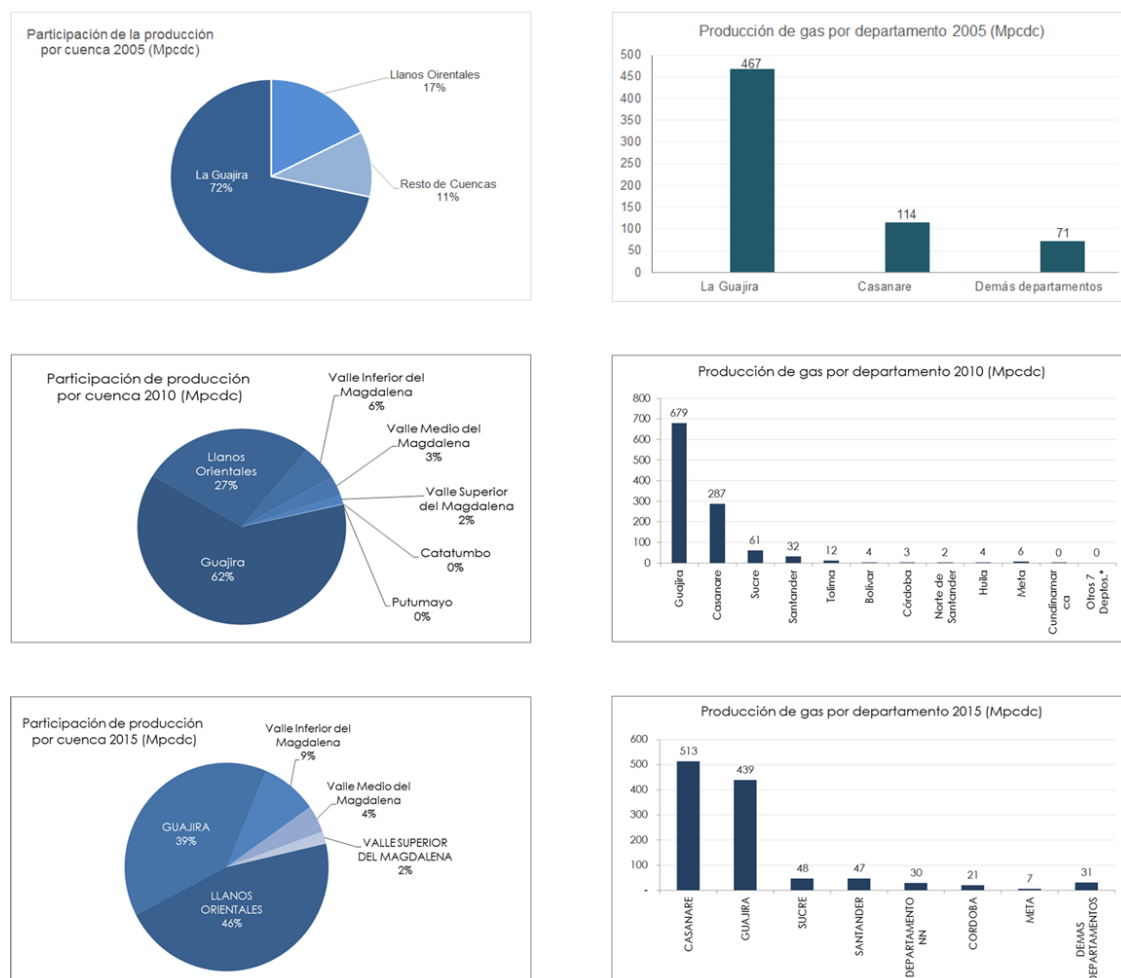


Figura 20. Participación y nivel de producción de gas natural por cuenca y departamento
 Nota. Adaptado de “El gas de La Guajira y sus efectos económicos sobre el departamento” por (Sánchez, 2011, p. 38), y de la información estadística de la Asociación Colombiana de Petróleo (base de datos: IEP, versión: diciembre de 2015).

Además, como se puede apreciar en la figura 20, en 2015 la producción conjunta de La Guajira y Casanare sumó 952 millones de pies cúbicos día calendario (Mpcdc), lo cual significa una concentraron del 85% de la producción en estos dos departamentos.

¹²⁷ Soportado por la producción de los campos Ballena en el municipio de Manaure (onshore) y la plataforma Chuchupa (offshore).

Por otra parte la clasificación geográfica para la producción de carbón se divide en cuencas o zonas carboníferas: Zona Carbonífera Norte y Zona Carbonífera Centro—Oriente, ver cuadro 18.

Estas dos zonas carboníferas concentran 10 departamentos y 42 áreas de explotación. La primera zona contiene tres departamentos La guajira, Cecas y Córdoba, y la segunda siete departamentos Cundinamarca, Boyacá, Norte de Santander, Antioquia—Antiguo Caldas, Santander, Cauca y Valle del Cauca.

Cuadro 18. Zonas Carboníferas de Colombia

ZONA	DEPARTAMENTO	ÁREAS
ZONA CARBONÍFERA NORTE	La Guajira	Cerrejón Norte
		Cerrejón Central
		Cerrejón Sur
	Cesar	La Loma
		Jagua de Ibirico
	Córdoba — Norte de Antioquia	Alto San Jorge
ZONA CARBONÍFERA CENTRO—ORIENTE	Cundinamarca	Jerusalén — Guataquí
		Guaduas — Caparrapi
		Guatavita — Sesquilé — Chocontá
		Tabio — Río frío — Carmen de Carupa
		Chequa — Lenguaque
		Suesca — Albarracín
		Zipaquirá — Neusa
		Páramo de la Bolsa — Machetá
		Chequa — Lenguaque
	Boyacá	Suesca — Albarracín
		Tunja — Paipa — Duitama
		Sogamoso — Jericó
		Betania
		Úmbita-Laguna de Tota
	Norte de Santander	Catatumbo
		Zulia — Chinacota
		Tasajero
		Salazar
		Herrán Toledo
		Pamplona — Pamplonita
		Chitagá
	Antioquia — Antiguo Caldas	Venecia — Fredonia
		Amagá — Angelópolis
		Venecia — Bolombolo
		Titiribí
		Riosucio-Quinchía
		ranzazu-Santágueda
	Santander	San Luis
		Cimitarra Sur
		Capitanejo — San Miguel
		Miranda
		Molagavita
		Páramo del Almorzadero

	Cauca y Valle del Cauca	Yumbo — Asnazú Río Dinde — Quebrada Honda Mosquera — El Hoyo
--	-------------------------	--

Nota. Elaborado por el Autor a partir de Tamayo y Ramírez (2014) y UPME (2012).

En términos de reservas probadas la Zona Carbonífera Norte es la más importante, y en esta zona predominan las reservas de carbón térmico¹²⁸ facilitándose su exportación por encontrarse en zona costera, por su parte la Zona Carbonífera Centro—Oriente aunque aborda una extensión territorial mayor cuenta con una menor participación tanto en las reservas como en la producción¹²⁹.

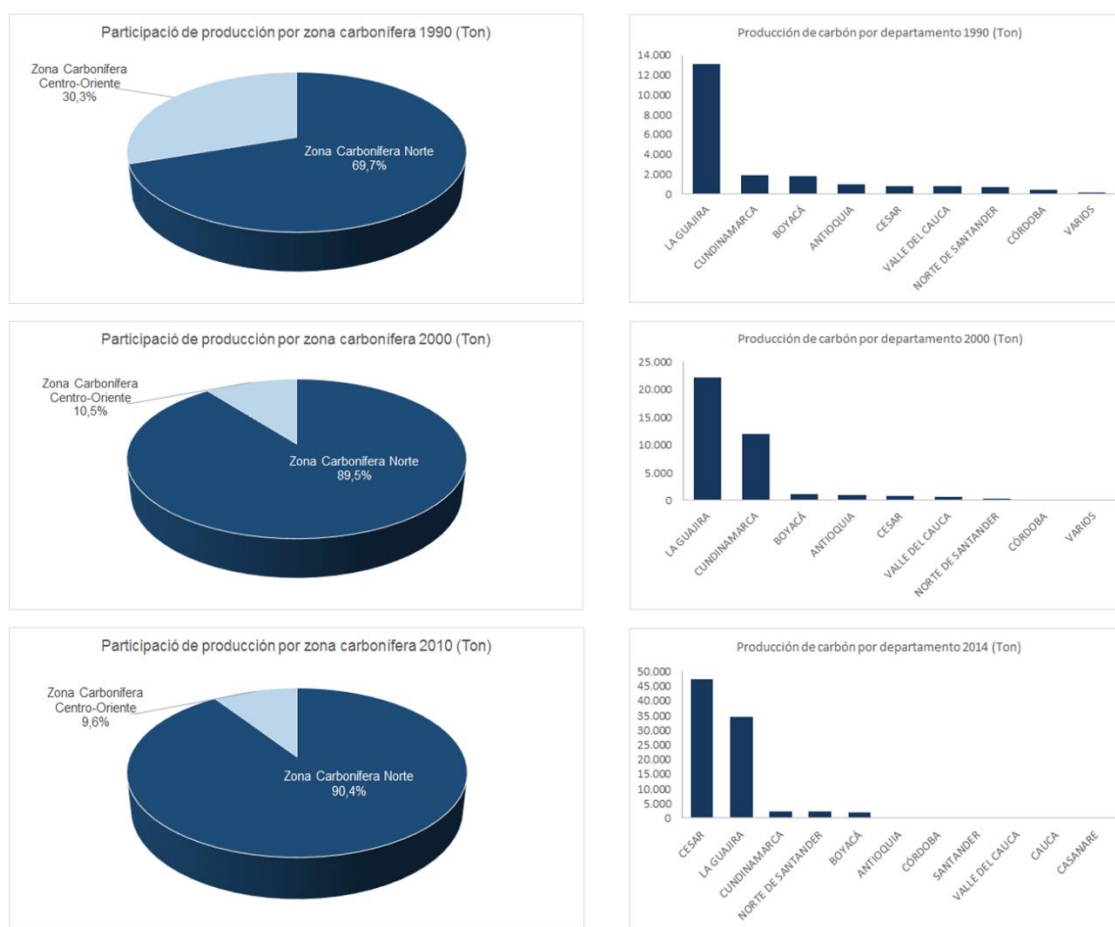


Figura 21. Participación y nivel de producción de carbón por cuenca y departamento

Nota. Elaborado por el Autor a partir de información estadística de la UPME (base de datos SIMCO)

En la figura 21, se puede observar que la producción se concentra principalmente en la Zona Carbonífera Norte, representando una participación promedio cercana al 90% en la última

¹²⁸ En esta región se produce principalmente carbones bituminosos de muy buena calidad que son competitivos en el mercado internacional para uso industrial y en la generación de calor, vapor y electricidad (UPME, 2012a).

¹²⁹ En esta región se produce principalmente carbones bituminosos y antárticos de buena calidad para usos térmico y metalúrgico.

década, soportada principalmente por los departamentos de La Guajira y Cesar. Mientras que la Zona Carbonífera Centro—Oriente ha disminuido su participación de la producción de 30,3% a 9,6% entre 1990 y 2010, siendo el departamento de Cundinamarca el que presenta la mayor producción de esta zona carbonífera.

En cuanto al contexto de la generación energética, de acuerdo a los balances energéticos nacionales de la UPME se destaca que la generación primaria de energía representa la principal fuente de energía y ha pasado de una participación del 63,8% al 84,7% del total de energía entre 1980 y 2012, figura 22a, a su vez dentro de las fuentes primarias los combustibles fósiles históricamente han representado más del 70% de la producción, llegando a representar más del 92% desde 2010, figura 22b. Al desagregar las fuentes primarias se puede apreciar como rasgos principales que el gas natural ha mantenido aproximadamente constante su participación, mientras que el carbón la ha incrementado pasando de representar el 13% en 1980 a más del 45% en 2012; por su parte, el petróleo ha tendido a mantener una participación constante cercana al 36% de media, salvo en el año 2005 en el que su participación descendió al 25%. El resto de los energéticos primarios¹³⁰ ha experimentado una disminución considerable al pasar de representar el 34% de las fuentes primarias, a menos del 10% en el mismo período.

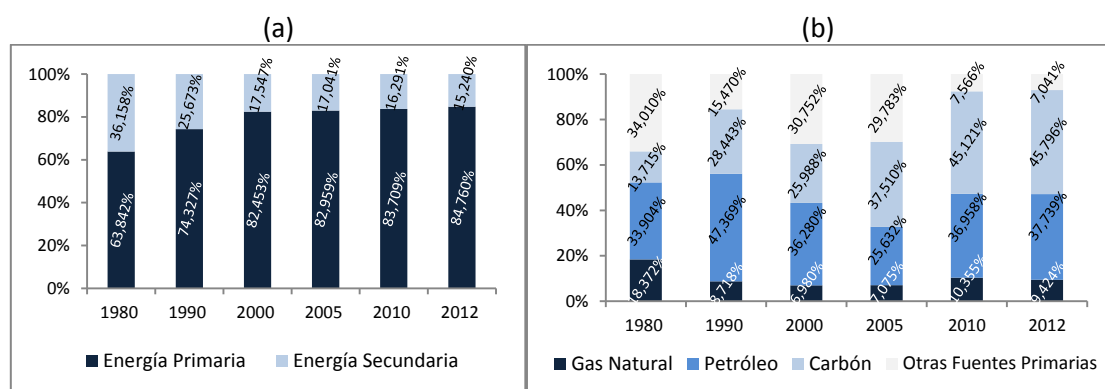


Figura 22. Participación porcentual por fuente de energía.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de la información estadística de los balances energéticos 1980-2012

Cabe señalar que por la naturaleza de las fuentes de energía, históricamente las fuentes de energía primara han representado la mayor proporción tanto en la producción como en la oferta interna y el consumo intermedio, mientras que las fuentes secundarias han representado la mayor proporción en el consumo neto total y el consumo final energético

¹³⁰ Esta categoría está conformada por leña, bagazo, recuperación/residuos, hidroenergía, eólica y otras primarias como cultivos energéticos, solar, etc., salvo la energía nuclear la cual no se produce en el país.

(UPME, 2011). La figura 23 presenta el flujo energético de Colombia en Terajoules para el año 2012¹³¹, donde se puede observar, por una parte, que de la producción de energía primaria la mayor proporción de petróleo y carbón se destina a la exportación (evidenciando la dependencia externa de estos energéticos), y de otra parte, que del consumo final de energía los derivados del petróleo son los de mayor utilización, especialmente en los sectores transporte, industrial y agropecuario y minero, mientras que el carbón mineral se destina principalmente al sector industrial y a la producción de coque (centros de transformación), y en menor proporción el consumo interno de gas natural se destina al sector industrial, transporte y residencial.

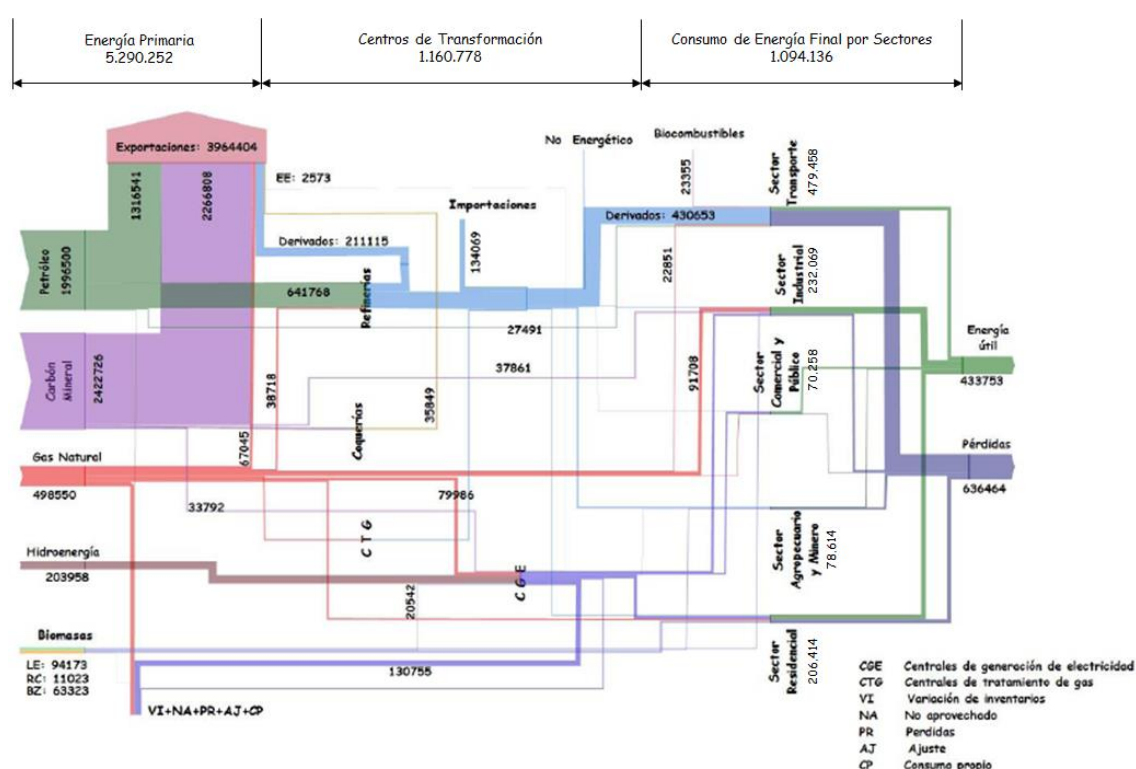


Figura 23. Flujo energético de Colombia 2012

Nota. Adaptado de "Resumen Ejecutivo UPME 2014." por UPME, 2014, p. 105. En el consumo sectorial falta el cómputo del sector construcción que representa un consumo final de 6.487 Terajoules.

Al desagregar las fuentes secundarias por subtipo se puede observar que las más representativas son la gasolina de motor, electricidad, diésel oil y fuel oil, las cuales representaron en promedio el 76,24% entre 1975 y 2012; de estas cuatro subcuentas secundarias tres son derivados de petróleo lo que deja ver la importancia del crudo a lo largo del flujo energético nacional. La figura 23 muestra la evolución histórica de las fuentes

¹³¹ El comportamiento general del flujo energético entre 1990 y 2012 es similar en cada año, por lo que la representación del flujo energético de 2012 permite identificar las tendencias principales en la generación primaria de energía, el consumo intermedio y el consumo final.

primarias y secundarias, las cuales pasaron de 186.849 a 1.263.556 Teracalorías y 95.216 a 227.180 Teracalorías respectivamente entre 1975 y 2012 (crecido a razón del 5,2% y 2,3% promedio anual), siendo como se mencionó antes, el petróleo, gas natural y carbón (figura 24a) y, gasolina de motor, electricidad, diésel oil y fuel oil (figura 24b) las que mayor participación tuvieron en las fuentes primarias y secundarias, respectivamente.

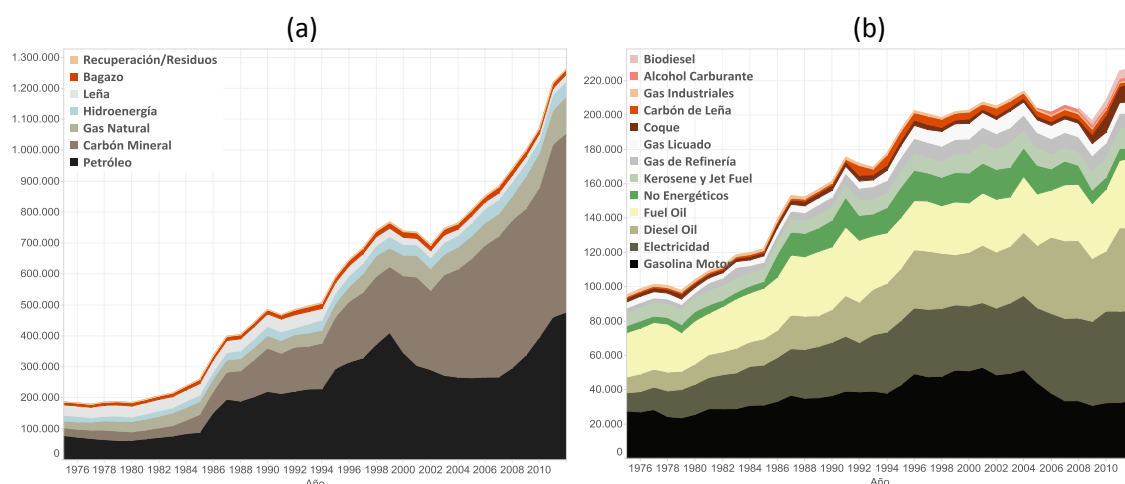


Figura 24. Evolución de la energía por subcategoría

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas de los balances energéticos nacionales 1975-2012

Cifras en Teratologías.

2.2. LOS RECURSOS NATURALES ENERGÉTICOS Y LAS ETAPAS DEL DESARROLLO

En un sentido general el proceso de desarrollo del país ha estado marcado en el último siglo por varias estrategias relacionadas con el tipo de inserción en la economía mundial, a lo largo del siglo XX la economía colombiana ha experimentado distintas fases como la expansión de la economía cafetera, la industrialización por sustitución de importaciones, la promoción de exportaciones y la apertura económica. A continuación se hace una breve descripción de las etapas del desarrollo ocurridas en Colombia y posteriormente se relaciona con el sector de los combustibles fósiles, estableciendo su grado de relevancia en cada etapa.

Las condiciones económicas de Colombia a comienzos de siglo XX seguían la tendencia de las economías atrasadas con énfasis en la producción primaria; tal como refiere Bejarano caracterizada por bajos niveles de ingreso per cápita y de acumulación de capital, una escasa integración al mercado mundial basada primordialmente en bienes primarios y una exigua incorporación tecnológica a la agricultura (Bejarano, 1987), como era el caso en América

Latina. No obstante, desde finales del siglo XIX hasta finales de la década de los años veinte del siglo XX el país experimentó un auge en la producción cafetera, que dio paso a un primer período de desarrollo basado en la exportación de este bien primario. A comienzos del siglo pasado la producción cafetera se concentraba principalmente en la región occidental del país (departamentos de Antioquia, Caldas, Valle del Cauca y Tolima), y representaba el 70% de la producción nacional (Bejarano, 1987), mientras que las exportaciones de café llegaron a representar en promedio más del 58% de las exportaciones totales de país entre 1900 y 1920, alcanzando su punto más alto en 1925 cuando representaron el 80% de las exportaciones totales¹³² (Pérez, 2006b). Este auge cafetero consolidó las exportaciones del país en este período y además generó una entrada considerable de divisas que no sólo hizo despegar el sector cafetero sino que además contribuyó a incrementar la acumulación de capital y posterior incremento de la inversión en otros sectores, en síntesis, la economía del café constituyó un gran soporte para la configuración de enlaces productivos en el sentido de Hirschman¹³³, tanto por la conformación una red de comercio y transporte, especialmente ferroviaria, como por la demanda de bienes manufacturados (Urrutia, 2008), lo que impulsó la ampliación y diversificación del mercado interno, he incentivó las bases del crecimiento económico de ese período a través de dos resortes tradicionales: la acumulación de capital y la ampliación del mercado. En este período la actividad en petróleo¹³⁴ y carbón aún no se había consolidado y era poco representativa en la canasta de exportaciones del país.

La segunda fase del desarrollo en el país se puede considerar desde finales de la década de los veinte (1929) hasta finales de la década de los sesenta. Este período estuvo caracterizado por un impulso al proceso de industrialización¹³⁵ del país y una elevada intervención Estatal. Durante este período la producción industrial tuvo un crecimiento significativo aunque presentó oscilaciones considerables asociadas con las condiciones internacionales: la gran crisis y la segunda Guerra Mundial. La crisis del 29 tuvo un efecto importante sobre la

¹³² Otros productos de exportación relevantes en este periodo fueron el oro, el platino, el banano y el petróleo (GRECO, 2002)

¹³³ Según Urrutia la economía colombiana experimentó una transformación debido a los eslabonamientos de la producción cafetera tanto hacia atrás (inversiones proveedoras de insumos) como hacia delante (inversiones empleadoras de productos), los primeros debido a la ampliación de las vías férreas que permitía transportar mayores cantidades de café para la exportación y la ampliación de la red vial que permitía la integración de un mercado nacional, y los segundos debido al aumento de la demanda de bienes manufacturados que requerían la conformación de una industria moderna, a lo que Hirschman denomina “enlaces de consumo” (Urrutia, 2008, p. 74)

¹³⁴ En este período no se había iniciado la producción de gas natural como se mencionó en el numeral 2.1.1.

¹³⁵ Formalmente este proceso se denominó “Modelos de Industrialización por Sustitución de Importaciones –MISI–” impulsado por la CEPAL.

estructura productiva del país debido al colapso del mercado del café por la acusada disminución del precio¹³⁶, lo que se reflejó en el desplome de las exportaciones del grano y un detrimento de los términos de intercambio del país (Ocampo, 1999), este colapso de la economía cafetera sentó las bases para la adopción del modelo cepalino de Industrialización por Sustitución de Importaciones y un acelerado surgimiento del intervencionismo estatal, lo que propició las condiciones necesarias para adoptar una política proteccionista estricta para favorecer el desarrollo de una industria naciente¹³⁷. Sin embargo, como afirma Pérez el agotamiento de este modelo debido a “la estrechez del mercado interno, los mayores requerimientos de divisas para la expansión de la base productiva y la escasez de mano de obra calificada” (Pérez, 2006b, p. 14), así como el alto endeudamiento público terminaron deteriorando el sector manufacturero y socavando esta etapa del desarrollo en Colombia.

La siguiente etapa de desarrollo en el país se puede enmarcar en las políticas de promoción de exportaciones inspiradas en la doctrina neoliberal. Esta etapa inicia a comienzos de la década del setenta hasta la actualidad. En este período se mantienen los incentivos a los sectores estratégicos y al despegue de las exportaciones no tradicionales (entre las que se encuentran las manufacturas), además, se disminuyen progresivamente los aranceles y restricciones al comercio exterior en general. En este contexto el modelo de desarrollo adoptado se basó en una progresiva liberalización de la economía tanto en términos comerciales como de flujo de capitales, una mayor exposición a la competencia internacional, y un acelerado proceso de desregulación y privatizaciones (menor intervención y tamaño del Estado), todo esto dentro de los postulados del denominado “Consenso de Washington”. Desde principios de la década de los setenta las exportaciones tradicionales y no tradicionales experimentaron un mayor ritmo de crecimiento, aunque tuvieron un leve revés por la crisis del petróleo de 1973 y por la crisis de la deuda en la década de los ochenta, que ocasionó varios desajustes macroeconómicos que obligaron al gobierno a aplicar planes de ajuste estructural (Ocampo, 1999). Adicionalmente desde mediados de la década de los ochenta se destaca una segunda bonanza cafetera en 1986 y una mayor participación y ritmo de crecimiento de las exportaciones de

¹³⁶ Entre 1929 y 1933 las exportaciones de café se contraen sustancialmente pasando de 125 a cerca de 48 millones de dólares respectivamente, mientras que las exportaciones de los otros productos primarios representativos (oro, el platino, el banano y el petróleo) presentaron poca variación en su comportamiento durante esta etapa, y las importaciones también presentaron un bajo comportamiento (GRECO, 2002). Además, En el caso de las exportaciones de petróleo, Pérez referencia que entre 1925 y 1940 las exportaciones del crudo representaron en promedio cerca del 20%, mientras que para el período 1945-1965 su participación promedio disminuyó a cerca del 15% de las exportaciones totales (Pérez, 2006b).

¹³⁷ En este período el sector industria presentó un acelerado ritmo de crecimiento y pasó a ser el sector productivo con mayor peso, desplazando al sector agrícola que históricamente había sido el principal.

hidrocarburos y carbón, que en la primera década del siglo XXI llegaron a representar más del 65% de las exportaciones totales.

En resumen, las distintas etapas de desarrollo estuvieron acompañadas de una tendencia ascendente del nivel del PIB en términos reales (figura 25), así como del ingreso per cápita, en especial a partir de la fase de la apertura económica, sin embargo, en términos de tasa de crecimiento es la década del sesenta y los primeros años del decenio de los setenta donde se presentan las tasas de crecimiento más las elevadas, 6% de media entre 1960 y 1975. En otras palabras la adaptación de la economía colombiana a los lineamientos de la doctrina económica dominante a partir de la segunda mitad del siglo pasado no redundó en tasas de crecimiento extraordinarias, además de continuar con una clara tendencia de país primario exportador que expuso al país a los desequilibrios y choques externos por la volatilidad de los precios de las materias primas.

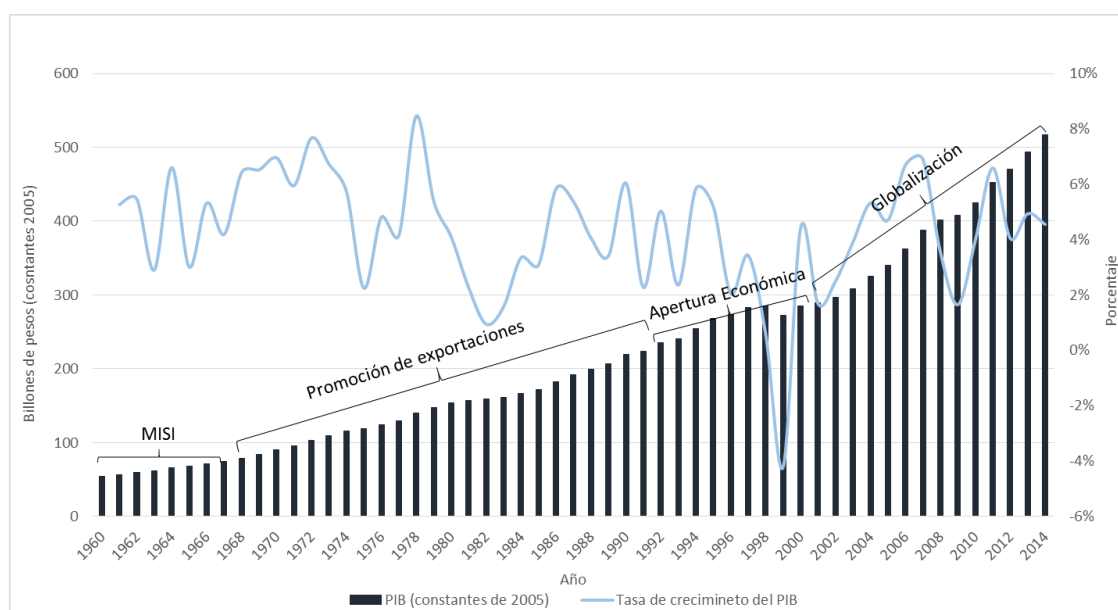


Figura 25. PIB de Colombia, valor y tasa de crecimiento 1960-2014

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI) versión febrero de 2015.

En cuanto al comportamiento de las exportaciones a lo largo de las distintas etapas de desarrollo también se experimentó una tendencia similar al PIB, es decir, que iniciaron con un nivel y ritmo de crecimiento bajos para alcanzar posteriormente desde la década de los noventa un nivel y ritmo de crecimiento elevados, sin embargo, su composición ha sufrido grandes modificaciones. En términos de comercio exterior Colombia ha sido desde principios de 1900 hasta mediados de siglo un país pequeño, poco abierto y primario exportador

(GRECO, 2002), debido en parte a dos motivos, el primero, como se mencionó antes a la concentración de sus exportaciones en productos primarios como el café, banano, oro, platino y petróleo; el café representó en promedio más del 58% del total de las exportaciones del país entre 1900 y 1920, convirtiéndose en el principal producto de referencia en las exportaciones del país¹³⁸, seguido por el petróleo del cual inició sus exportaciones 1926, el segundo factor lo constituye el período de proteccionismo (sustitución de importaciones) que se extendió hasta finales de los años sesenta. Donde nuevamente el café tuvo la mayor participación en las exportaciones, 68% en promedio entre 1925-1969 y, además, según el Grupo de Estudios del Crecimiento Económico -GRECO- del Banco de la República de Colombia representó más del 20% de la producción mundial de café entre 1944 y 1945 (GRECO, 2002, p. 232), no obstante, a partir de la década de los sesenta las llamadas exportaciones no tradicionales iniciaron una fase de crecimiento y aumentaron su participación dentro de las exportaciones totales superando para finales de este decenio la participación de las exportaciones tradicionales¹³⁹.

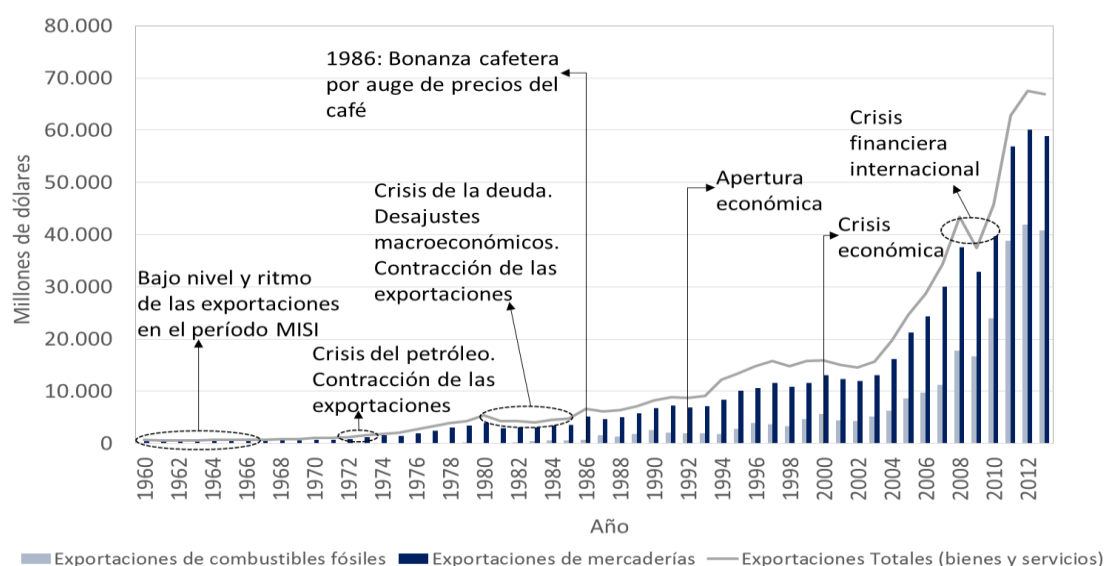


Figura 26. Exportaciones totales y de combustibles fósiles de Colombia entre 1960 y 2013

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015.

¹³⁸ Desde finales del siglo XIX hasta principios del siglo XX el café llegó a representar aproximadamente el 50% de los ingresos de exportación.

¹³⁹ Las exportaciones tradicionales están conformadas por el café, banano, oro, platino y petróleo, y reciben esta denominación por ser los productos que históricamente se han exportado desde finales del siglo XIX y principios del XX. Por su parte las exportaciones no tradicionales están conformadas por el resto de productos primarios y manufacturas que hacen parte de la cesta de exportación del país, y reciben esta denominación dado que su composición e inicio ha sido más variable y en algunos casos de reciente evolución. En este grupo hacen parte entre otros productos las exportaciones de tabaco, algodón, flores, azúcar, confecciones, productos de la industria química, ferróníquel, esmeraldas y manufacturas, etc.

Como hechos representativos se destaca el estancamiento de las exportaciones a principios de los años setenta y en la primera mitad de los años ochenta, debido a la crisis del petróleo en 1973 y a la crisis de la deuda en 1980-1985, así como su retroceso entre 1998-1999 y 2008-2009 debido a la crisis económica interna en el primer caso y a la crisis financiera internacional en el segundo caso, como se puede apreciar en la figura 26. De igual forma se destaca el acelerado crecimiento de las exportaciones desde 1986 cuando ya se habían implementado los ajustes orientados a la promoción de exportaciones, que tuvo además un impulso por el boom de precios del café en ese año y el proceso de apertura económica de 1992 que dinamizó el flujo de comercio exterior del país, especialmente de las importaciones.

En este contexto de la evolución de las exportaciones dentro de las etapas del desarrollo en Colombia, los combustibles fósiles han presentado un dinamismo extraordinario en el último cuarto del siglo pasado y la primera década del presente siglo, puestos que entre 1960 y 1986 (etapa de sustitución de importaciones y primeros años de la etapa de promoción de exportaciones), su participación dentro de las exportaciones totales ascendía apenas al 10,2%, mientras que desde 1987 hasta el año 2000 la participación promedio de los combustibles fósiles pasó al 30,6%¹⁴⁰, y para el período 2000-2013 representaban de media el 48,3% de las exportaciones totales y el 83,2% de las exportaciones tradicionales, asimismo, las exportaciones de petróleo, gas natural y carbón en conjunto alcanzaron su participación más alta en 2013 último año de la serie analizada con 66% y 93% de las exportaciones totales y tradicionales respectivamente, dejando ver de esta manera la relevancia y dependencia de estos energéticos para la economía colombiana, puesto que en los últimos cincuenta años no sólo han desplazado al café como principal producto de las exportaciones, sino que además han pasado de representar menos del 10% de las exportaciones totales a representar el 69,43% en 2013, esto significa que la totalidad de las exportaciones industriales, el resto de exportaciones primarias y las exportaciones de servicios en conjunto apenas representan un tercio de las exportaciones totales, mientras que las exportaciones de sólo dos energéticos “petróleo, gas natural¹⁴¹ y carbón representan dos tercios.

¹⁴⁰ Este período estuvo marcado por transformaciones importantes en el marco normativo relacionadas con los tipos de contrato de asociación para la explotación de hidrocarburos, los planes de masificación de la demanda de gas natural y el código de minas, además de la adición de grandes descubrimientos de reservas de petróleo y gas natural (campos de Cupiagua y Cusiana) y una elevada tasa de producción de petróleo y carbón.

¹⁴¹ Cabe mencionar que las exportaciones de gas natural iniciaron en 2007, por lo que la participación de los combustibles fósiles en las exportaciones totales a lo largo de las últimas cinco décadas se debe puntualmente al petróleo y el carbón.

A pesar de que las exportaciones de petróleo, y posteriormente las exportaciones de carbón, tuvieron una participación menor dentro de las exportaciones del país en los años en los que estaba instaurado el modelo de sustitución de importaciones, aun así, estas exportaciones fueron relevantes en el contexto interno nacional y regional de la economía colombiana, no obstante, ha sido en los últimos veinte años bajo la estrategia de desarrollo basada en la liberalización y apertura de la economía que las exportaciones de combustibles fósiles han tenido un despliegue relevante tanto por su participación en las exportaciones totales y tradicionales, como por el acelerado ritmo de crecimiento que han tenido (en volúmenes y valor de las exportaciones).

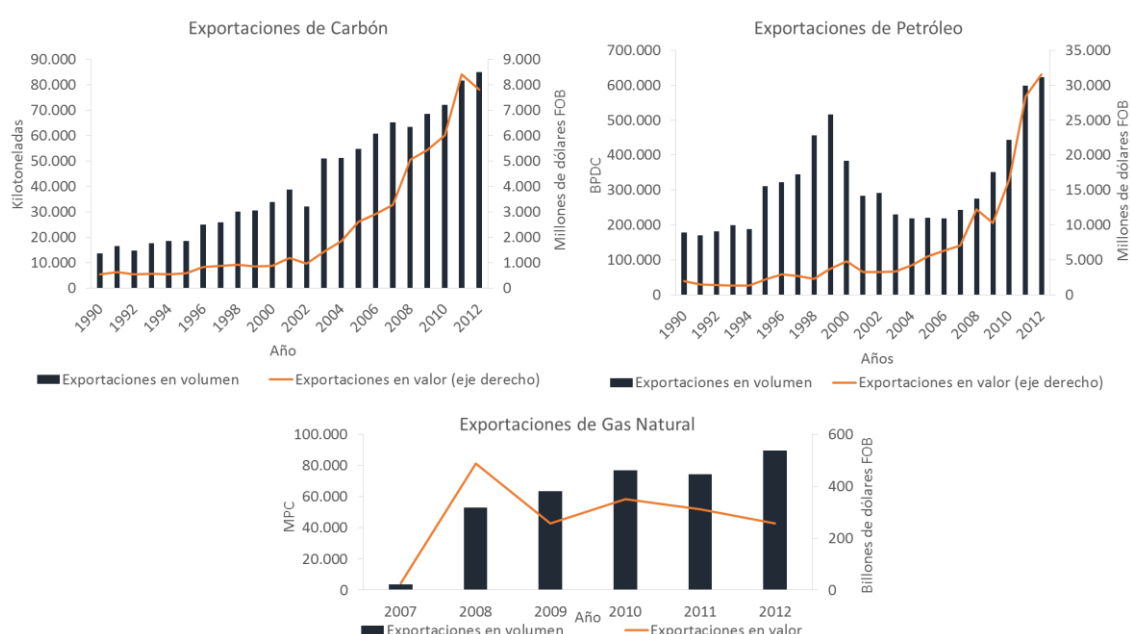


Figura 27. Exportaciones de combustibles fósiles en valor y volumen

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015.

La figura 27 muestra la evolución de las exportaciones de petróleo, gas natural y carbón tanto en volumen como en valor (dólares FOB). En cuanto a las exportaciones de carbón, estas presentaron un crecimiento constante tanto en volumen como en valores, al registrar un crecimiento promedio anual de la producción en kilotoneladas del 8,29%, al pasar de 13.625 a 85.021 kt entre 1990 y 2012, a la vez que las exportaciones en dólares FOB corrientes pasaron de 544 a 7.805 millones de dólares (12,27% promedio anual). En cuanto al petróleo, las exportaciones en valor mantuvieron una tendencia creciente en especial a partir de 2002, sin embargo, no sucedió igual con las exportaciones en volumen, puesto que estas últimas presentaron un decrecimiento entre los años 2000 y el 2007 debido a la disminución de la producción y las reservas en ese período, sin embargo, en términos de la participación dentro

de las exportaciones totales mantuvo su tendencia creciente gracias al comportamiento de los precios del crudo (WTI) que pasaron de 30,37 US\$/barril a 72,20 US\$/barril lo que representó un crecimiento del precio del 47,3% en esos 8 años. La producción en BPDC pasó de 178.200, a 622.580 BPDC entre 1990 y 2012 representando un crecimiento promedio anual de 5,6%, mientras el valor de las exportaciones presentó un crecimiento extraordinario (1.518% en el mismo período, lo cual significó un crecimiento promedio anual de 12,9%). Con relación al gas natural las exportaciones iniciaron en 2007 aunque de forma moderada (parte inferior de la figura 26); es a partir de 2008 cuando presentan un volumen extremadamente elevado de exportación pasando de 3.531 y 52.972 a 89.700 millones de pies cúbicos en 2007, 2008 y 2012 respectivamente, lo que equivale a un crecimiento promedio anual del 71,45%, entre 2007 y 2012, a la vez que el valor de las exportaciones pasó de 25,5 a 257,04 billones de dólares FOB, representando un crecimiento promedio anual del 46,9% en el mismo período de tiempo. Este elevado comportamiento de las exportaciones estuvo impulsado principalmente por las importaciones de Venezuela.

2.2.1. Relación entre los combustibles fósiles y los principales agregados económicos en las distintas etapas del desarrollo en Colombia

En este apartado se relaciona el sector productivo del petróleo, gas natural y carbón con el PIB, las exportaciones, la inversión extranjera directa y la balanza comercial, dejando para el epígrafe siguiente la relación con las regalías, la IED y la recaudación tributaria que merecen un tratamiento independiente por su relevancia.

A pesar del bueno comportamiento de las exportaciones de los combustibles fósiles tanto en su ritmo de crecimiento como en su participación dentro de las exportaciones del país como se expuso en el numeral anterior, el sector minero energético¹⁴² ha presentado una baja participación en la estructura económica del país; en la década 1965-1974 cuando ya estaba consolidado el modelo de industrialización por sustitución de importaciones el sector

¹⁴² En este punto se define como sector minero energético únicamente la producción de petróleo crudo, gas natural y carbón mineral. No se incluye en esta categoría la totalidad de subsectores y actividades productivas que componen el sector minero energético como la refinación de productos derivados del petróleo y centros de transformación (coque), servicios asociados a la industria de hidrocarburos, resto de la minería (minerales metálicos y no metálicos) y producción de energía, con lo cual la participación del sector minero energético sería más alta, sin embargo, por la falta de información de estas actividades para la serie histórica utilizada sólo se ha computado en los cálculos la información para petróleo crudo, gas natural y carbón mineral.

hidrocarburos y carbón en el PIB representaba en promedio 1.130 millones de dólares constantes de 2005 (cuadro 19), lo que significaba una participación media apenas de 2,4%, mientras que el sector industrial representada de media el 28,1% del PIB. No obstante, para el período 2005-2014 marcado por el modelo de desarrollo aperturista (liberalización, desregulación y apertura comercial), la tendencia en la participación media por sectores en el PIB se ha mantenido, aunque con una profundización en el peso del sector industrial, muy distinto a lo que ha sucedido con la participación promedio de las exportaciones por sector. Mientras que en la última década la participación promedio del sector combustibles fósiles en el PIB se elevó a 8,3%, el sector industrial ascendió al 35,4% de media, sin embargo, las exportaciones industriales apenas representaron el 27,6%, mientras que las de los combustibles fósiles representaron en promedio más de la mitad de las exportaciones totales, 53,7% en este último decenio.

Además, esta tendencia se presentó también en la distribución de la inversión extranjera directa (IED) que también para el último decenio representó una participación promedio del 50,1%, mientras que de media la participación de la IED en el sector industrial fue del 17,6%, es decir que entre 2005 y 2014 más del 50% de la IED se concentró en hidrocarburos y carbón, mientras que el resto se distribuyó entre los sectores de agricultura, manufactureras, construcción, comercio, transporte y servicios financieros entre otros (en el siguiente acápite se describe con mayor detalle la evolución de la IED en combustibles fósiles).

Cuadro 19. Indicadores económicos asociados a los combustibles fósiles por período

Valores y porcentajes promedio por década para cada indicador	1965-1974	1975-1984	1985-1994	1995-2004	2005-2014
PIB per cápita ^{/a}	1.753	2.282	2.690	3.100	4.012
PIB ^{/b}	38.368	62.892	91.625	124.380	183.555
PIB petróleo, gas natural y carbón ^{/b}	1.130	2.973	4.677	5.860	15.052
Part. % de combustibles fósiles	2,4	4,7	5,1	4,7	8,3
Part. % sector industrial	28,1	31,5	36,2	30,1	35,4
Exportaciones totales ^{/b}	3.805	5.669	11.437	19.328	30.948
Part. % export. combustibles fósiles	11,2	6,5	26,3	35,8	53,7
Part. % export. industriales	13,7	20,2	26,0	34,3	27,6
IED Total ^{/c}		305	868	2.593	11.312
Part. % IED en combustibles fósiles ^{/d}				24,6	50,1
Part. % IED en industriales ^{/d}				18,4	17,6

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015, y estadísticas del Banco de la República de Colombia, Subgerencia de Estudios Económicos - Balanza de Pagos. Cifras en valor y porcentaje.

^{/a} cifras en dólares constantes de 2005. ^{/b} cifras en millones de dólares constantes de 2005. ^{/c} Cifras en millones de dólares corrientes. ^{/d} Datos disponibles a partir de 1994.

Part. %: Participación porcentual promedio.

Por otra parte el dinamismo de las exportaciones en la etapa de apertura comercial tuvo implicaciones mayores a las de la etapa del MISI en el comportamiento de la balanza comercial como era de esperarse. Como se puede observar en la figura 28, la balanza de mercancías no presentó una tendencia claramente definida en el decenio de los sesenta durante el MISI, aunque en este período las importaciones fueron levemente superiores a las exportaciones salvo en algunos años concretos.

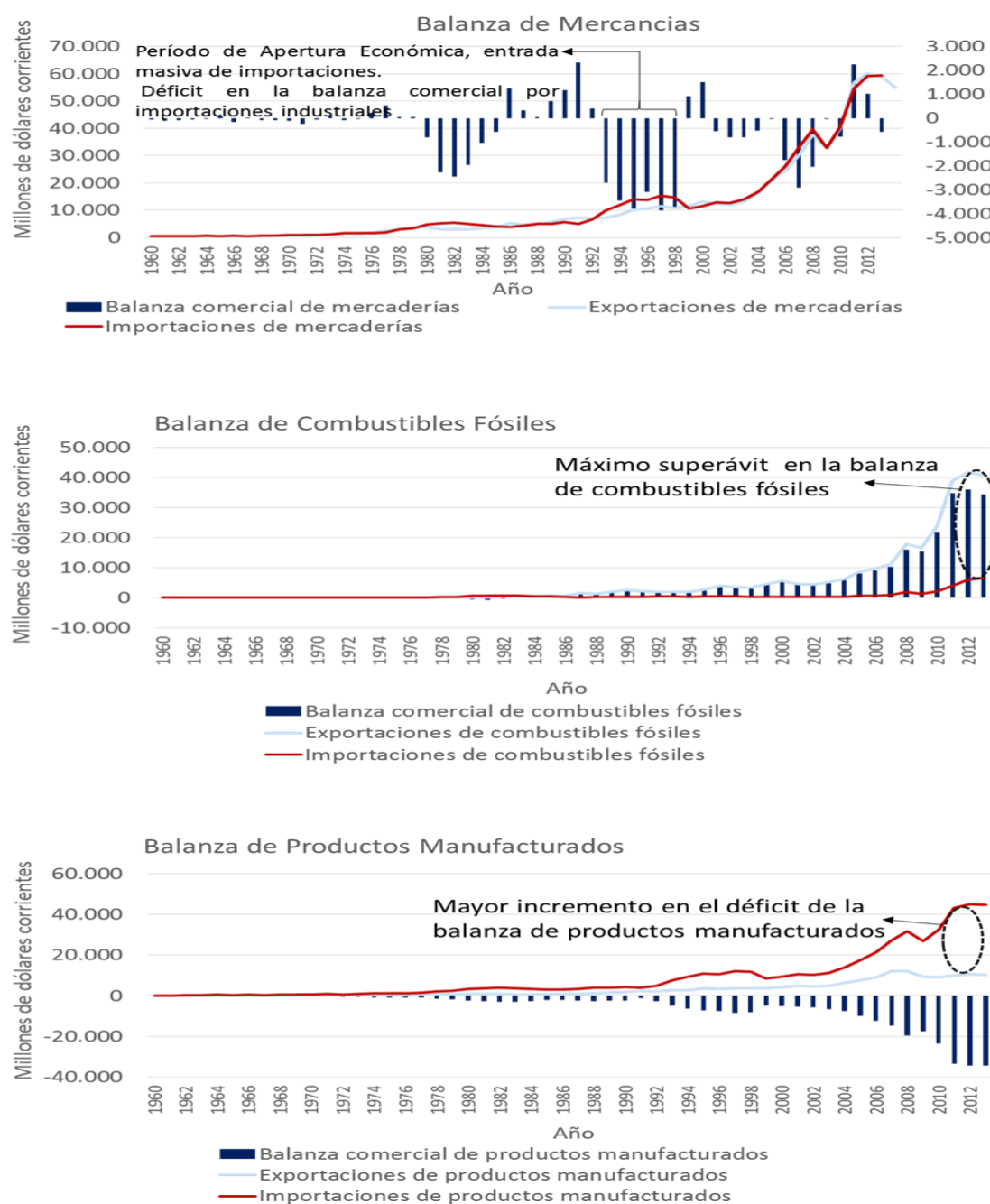


Figura 28. Evolución de la balanza comercial total y por tipo

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial y cálculos propios. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015.

Este comportamiento durante la etapa de sustitución de importaciones se debió esencialmente a tres factores: i) la producción de bienes de consumo y no durables requería de bienes intermedios y de capital, no producidos en el país por sus altos costos de producción, por lo que eran importados, ii) el modelo de sustitución de importaciones estaba fuertemente instaurado en los países latinoamericanos donde estaban los principales socios comerciales de Colombia además de Estados Unidos, por lo que el entorno internacional impedía que las exportaciones nacionales crecieran a ritmos elevados, y iii) en ese período las exportaciones nacionales están poco diversificadas, concentrándose mayoritariamente en las exportaciones de café y otros productos primarios, y por lo tanto los cambios de la demanda internacional y la exposición a la volatilidad de los precios internacionales de los commodities afectaban la balanza corriente.

Posteriormente con la adopción del modelo de desarrollo hacia afuera “Promoción de Exportaciones”, se presentó un leve aumento de las exportaciones del país, así como una recomposición de la cesta de exportaciones en la que el petróleo empezó a tener más participación, sin embargo, la crisis de la deuda que golpeó a varios países latinos en los años ochenta propició un revés de las exportaciones colombianas (1980-1985), agravado por el hecho de que el país pasó a ser importador neto de hidrocarburos en ese período¹⁴³, por lo que tanto la balanza de combustibles fósiles como la de productos manufacturados fueron deficitarias (figura 28). El otro período deficitario se presenta en los primeros años de la fase denominada “Apertura Económica”, la cual estuvo precedida por grandes cambio regulatorios encaminados a la liberalización comercial y de capitales. En esta etapa las importaciones industriales tuvieron una expansión descontrolada generando un período de seis años consecutivos de déficit comercial alcanzando un saldo record de -3.856 millones de dólares en 1997, no obstante, la balanza de combustibles fósiles ha estado en superávit a partir de 1986, logrando los mejores resultados desde 2010, lo que ha permitido a su vez lograr superávits en 2010 y 2011, a pesar del déficit creciente de la balanza de bienes industriales.

En síntesis el auge que ha experimentado el sector de los combustibles fósiles especialmente desde principios de los noventa prácticamente no ha tenido precedentes como se puede

¹⁴³ Como se mencionó en el apartado 2.1.1., el sector petrolero había entrado en una fase de contracción de la producción y reservas desde principios de los setenta (figura 14), agravado por la falta de nuevos yacimientos de crudo y los pocos incentivos en el marco regulatorio para desarrollar inversiones en exploración, lo que llevó al país a pasar de exportador neto a importador neto de petróleo en este período.

observar en las dos últimas columnas de la tabla 19 y la tendencia observada en la figura 28, y que se han comentado en el párrafo anterior. Este comportamiento obedece en buena medida a los cambios institucionales y de la regulación en los sectores hidrocarburos y minería (comentados en el numeral, 2.1.1), y que tuvieron lugar en el último cuarto del siglo pasado, correspondiéndose con el momento histórico más enérgico del modelo de desarrollo basado en la promisión de exportaciones “apertura económica”, sin embargo, como se describirá en la sección 2.3., este buen comportamiento del sector en términos de los agregados macroeconómicos no ha tenido un impacto nacional y regional tan enérgico en términos socioeconómicos.

2.2.2. Comportamiento de la inversión y las rentas en combustibles fósiles

Puesto que los sectores de hidrocarburos y carbonífero son intensivos en capital la inversión en estos sectores está conformada principalmente por las inversiones de compañías extranjeras y en menor medida por inversión nacional (Ecopetrol y Ecominas posteriormente reestructurada en Mineralco)¹⁴⁴, por esta razón la mayor proporción de capital es de origen foráneo, esto es, de inversión extranjera directa La inversión (IED).

Como antecedente de la IED en hidrocarburo y minería (incluyendo carbón)¹⁴⁵ se describe brevemente la evolución de la IED total en el país en las últimas tres décadas. Como se puede observar en la figura 29, desde finales de los setenta hasta principios de los noventa la IED mantuvo niveles relativamente bajos y representó en promedio 0,9% del PIB, mientras que entre mediados de los noventa en adelante experimentó un mayor crecimiento, pasando a representar de media el 2,2% entre 1993 y 2004, y para 2005-2011 representó el 4,2% de PIB. Este crecimiento acelerado de la IED total en especial desde los años noventa se debe esencialmente a los progresivos cambios en el marco normativo relacionados con el régimen cambiario y de capitales; como lo explican Garavito, Iregui, & Ramírez (2012) desde el Decreto Ley 444 de 1967 hasta el Decreto 1265 de 1988¹⁴⁶, la normativa restringía fuertemente la

¹⁴⁴ También participan pequeñas compañías operadoras. Adicionalmente por la naturaleza del sector las inversiones se concentran principalmente en exploración, desarrollo y producción (actividades de prospectiva, exploración -pozos A3-, y pozos de desarrollo).

¹⁴⁵ Los registros oficiales publicados por el Banco de la República de Colombia registran las entradas de IED por grandes sectores económicos, por lo que la IED en carbón se computa dentro de la categoría “Minas y Canteras” y la IED en petróleo (y gas) se computa en la categoría “Sector Petrolero”, además, la información estadística se presenta desde 1994.

¹⁴⁶ Otra normativas relevantes fueron el Acuerdo de Cartagena de 1969 que consistió en un régimen común de inversiones extranjeras de la Comunidad Andina, el Decreto Ley 1900 de 1973 que prohibía la

entrada de capitales al país en correspondencia con una política proteccionista dentro del marco del modelo de desarrollo de sustitución de importaciones vigente a mediados del siglo pasado, no obstante, como consecuencia de las reformas estructurales acontecidas a principios de los años noventa (y continuadas en la década siguiente), se adoptó un nuevo régimen de inversiones más flexible a la entrada de capitales externos; cambios introducidos en primera instancia con la promulgación de la Ley 9 de 1991 que definía un nuevo estatuto cambiario, y posteriormente con el Decreto 2080 de 2000 que reguló el régimen de inversiones de capital del exterior en Colombia, y la ley 963 de 2005 que introdujo la figura de Contratos de Estabilidad Jurídica¹⁴⁷, además en 2006 con la ley 1111 se eliminó el impuesto de remesas hacia el exterior (Bernal, 2012; Garavito et al., 2012). Todos estos cambios dieron mayor libertad a los movimientos de divisas y capitales que ingresan al país, permitiendo de esta manera tener una mayor flexibilidad en los flujos de IED, tanto de entradas como salidas¹⁴⁸.

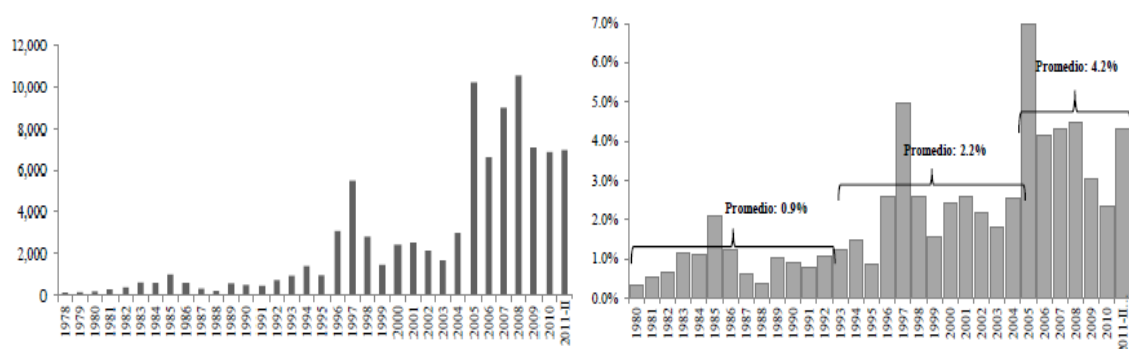


Figura 29. Evolución de la IED en Colombia

Nota. Adaptado de “Inversión Extranjera Directa en Colombia: Evolución reciente y marco normativo.” por Garavito et al, 2012, Borradores de Economía, 713, p. 25.

Por otra parte la inversión extranjera directa entre 1980 y 2004 ha presentado dos modificaciones en su distribución sectorial, entre los años ochenta y comienzos de los noventa la mayor concentración se produjo en la explotación de recursos naturales, seguida en menor medida en las manufactureras, hecho que se corresponde con el bajo desarrollo

entrada de inversiones a ciertos sectores económicos, limitaba la participación extranjera en las empresas nacionales, el giro de utilidades y el acceso al crédito interno (Garavito et al., 2012, p. 27).

¹⁴⁷ Los Contratos de Estabilidad Jurídica son una forma jurídica que garantiza a la empresa extranjera por un período extenso (entre 3 y 20 años) los derechos adquiridos previamente en materia tributaria y otras disposiciones legales para la recepción de la IED en el país.

¹⁴⁸ Para una mayor profundización acerca del comportamiento, distribución sectorial y evolución histórica de la IED, así como su impacto a nivel en la economía nacional, puede consultarse el trabajo de Garavito et al. (2012) y Fedesarrollo (2007). Adicionalmente, para contar con una descripción detallada de la IED en petróleo y minería (carbón) se puede revisar principalmente los trabajos de López, Montes, Garavito, & Collazos (2013), y Bernal (2012) en petróleo y, Cárdenas & Reina (2008), Martínez & Aguilar (2012) y Martínez & Aguilar (2013) para minería (carbón).

industrial y el predominio de las exportaciones primarias de ese perdió. Posteriormente desde 1992 con la política de apertura comercial y los cambios en el régimen de inversiones, la IED en manufacturas pasó a tener la mayor participación debido en parte al impulso a las exportaciones e importaciones en bienes industriales (manufacturas en general). En términos generales la participación promedio de la IED en los sectores de manufacturas, Comercio, Transportes y Servicios Financieros y Empresariales representó en promedio entre 1994 y 2004 el 79,8%, mientras que en hidrocarburos y minería representó de media el 20,2%. Sin embargo, a partir de 2005 la tendencia se invirtió nuevamente y la IED en hidrocarburos y minería (carbón) pasó a representar, según los datos de la Balanza de Pagos colombiana reportados por la Subgerencia de Estudios Económicos del Banco de la República de Colombia¹⁴⁹, el 50,14% entre 2005-2014.

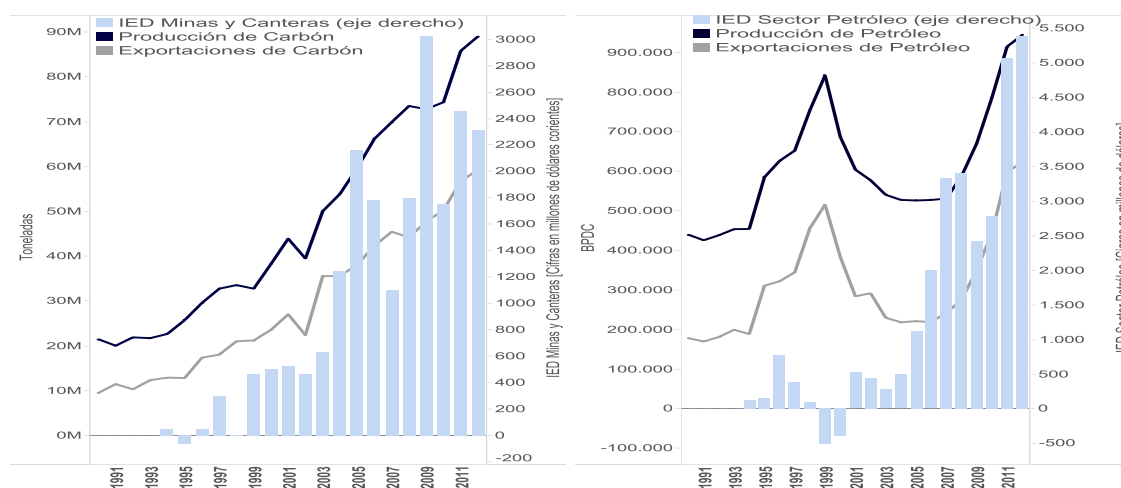
En cuanto a la evolución reciente de la IED en petróleo y carbón desde la década de los noventa hasta la actualidad las inversiones foráneas han presentado una tendencia ascendente y altas tasas de crecimiento, en especial desde comienzos del presente siglo. En el caso de la IED en Minería¹⁵⁰ esta ha tenido un papel destacado en los últimos años, aunque ha registrado un comportamiento volátil antes de 1999 (Cárdenas & Reina, 2008), no obstante, su tasa de crecimiento ha sido elevada 18,18% promedio anual la pasa de 47 a 1.582 millones de dólares entre 1994 y 2014, alcanzando en 2004 la mayor participación con 40% del total de la IED¹⁵¹. Adicionalmente como se puede observar en la figura 30 (lado izquierdo), los elevados incrementos en los flujos de IED en el sector estuvieron aparejados con el crecimiento de la producción y de las exportaciones, así como de un contexto de crecimiento continuo de los precios internacionales del carbón entre 2004 y 2011 que reforzó la dinámica de las inversiones foráneas en el sector.

¹⁴⁹ Información disponible en el portal web del Banco de la República: <http://www.banrep.gov.co/es/inversion-directa>.

¹⁵⁰ Es de aclarar que el cómputo de la IED en minería se registra de forma global, es decir, para todo el sector minas y canteras incluido el carbón, sin embargo este último mineral representa la mayor proporción de la IED de este sector, por lo que al evolución de la IED en minas y canteras refleja mayoritariamente el comportamiento de la IED en Carbón que es el subsector en el que se concentra la minería a gran escala.

¹⁵¹ Como hechos significativos se encuentra las reducciones en el valor total de la IED en Minería en los años 1995 y 1998, el primer caso producido por una desinversión y en el segundo caso por el contexto de crisis internacional que redujo la inversión en el sector.

En cuanto a la tendencia de la IED en petróleo¹⁵² el comportamiento fue similar al caso de la minería y el carbón, es decir, que la IED presentó un incremento sustancial en los últimos años. Las entradas de IED en 1994 ascendían a 135 millones de dólares y para 2014 sumaban 4.732 millones, lo que significa un crecimiento promedio anual de 18,47%. Al comparar la evolución de la IED con la producción y las exportaciones de petróleo se observa a diferencia del caso anterior una divergencia entre la tendencia de la IED y la tendencia de la producción y exportaciones; mientras la IED presentó aumentos continuos desde 2001 después de una fuerte reducción en 1999 y 2000, la producción, las exportaciones (y las reservas) lograron un primer punto máximo en 1999 para posteriormente disminuir hasta 2008. El hecho de que la IED aumentara anualmente a ritmos tan elevados a la vez que tanto la producción, las exportaciones y las reservas decrecieran también a ritmos acelerados (figura 30, lado derecho), se debe a dos factores igualmente relevantes aunque de naturaleza diferente, en primer lugar, en el entorno nacional la flexibilización normativa comentada en párrafos anteriores imponía menores restricciones a la entrada de capitales y aumentaba los incentivos para la exploración y producción, y en segundo lugar, en el contexto internacional, la dinámica alcista de los precios internacionales durante 1998-2008 ocasionó una bonanza de precios, que compensó la disminución de las exportaciones en volumen (BPDC).



¹⁵² En este rubro se computa la IED en el sector petrolífero en conjunto, es decir, en hidrocarburos (crudos livianos, pesados y gas natural), puesto que la producción del crudo y del gas asociado se realiza de forma conjunta, por lo que en las cifras oficiales no se diferencia la IED en gas natural de la realizada en petróleo crudo. Por esta razón, se utiliza el término IED en petróleo como sinónimo de IED en hidrocarburos en general (lo cual incluye al gas natural).

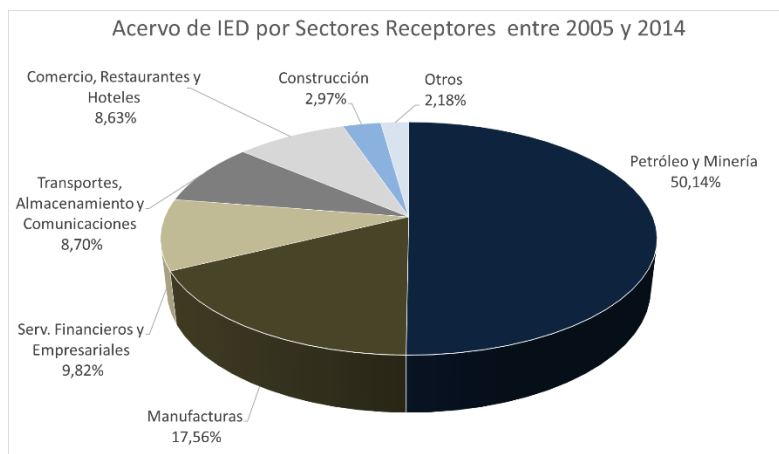


Figura 30. IED en hidrocarburos y Carbón, y acumulado por sector

Nota. Elaborado por el Autor a partir de la información estadística reportada por la Subgerencia de Estudios Económicos del Banco de la República y cálculos propios.

Como hechos puntuales se destaca que entre 1999 y 2000, y en 2009 la IED en petróleo se redujo en gran medida debido en el primer caso a las condiciones adversas derivadas de la crisis económica que vivió el país en esos años y que ocasionó una contracción de la economía en conjunto y un saldo negativo de la IED en los sectores de Electricidad, Construcción, petróleo, y Minas y Canteras, además de una fuerte reducción en la IED en el sector financiero. En 2009 la reducción contracción de la IED en petróleo se debió la a recesión de la economía mundial ocasionada por la crisis financiera internacional de 2008.

A pesar de estos dos percances que impactaron negativamente en la IED tanto de petróleo como de minería, en términos generales las inversiones extranjeras en estos sectores ha crecido vertiginosamente incluso por encima de la IED en sectores tan relevantes como el industrial y el financiero, prueba de ello es la inversión extranjera acumulada por sector. El stock de IED en petróleo y minería en tan sólo la última década ha pasado a representar la mitad de los flujos de entrada de IED (50,14%); la parte inferior de la figura 30 presente el acervo de IED por sectores en el que se puede apreciar que detrás de la participación en petróleo y minería el segundo sector que más entradas de inversión extrajera ha recibido es el sector de manufacturas con apenas un acumulado del 17%, seguido del sector financiero con cerca del 10%, y de los sectores de transporte y comercio con porcentajes cercanos al 9%.

Puesto que no se dispone de series históricas extensas sobre la IED específicamente en carbón, la información anterior hace referencia al consolidado de la IED en el sector minas y canteras

del que hace parte la producción¹⁵³ de minerales metálicos (cobre, hierro y ferroníquel), minerales no metálicos (azufre, calizas, sal marina y sal terrestre), minerales preciosos (oro, plata y platino), piedras preciosas (esmeraldas) y minerales combustibles (carbón: antracita, metalúrgico y térmico), entre otros como manganeso, yeso y arenas negras. Sin embargo, la UPME publica para los años 2001-2012, la IED del sector minas y canteras desagregada en tres categorías¹⁵⁴ entre las que se encuentra que la IED en carbón (carbón, lignito y turba). No obstante, el análisis de los párrafos anteriores sobre la IED en el sector de minas y cantera es válido para describir la tendencia histórica de la IED específicamente en carbón puesto que este subsector es el más representativo como receptor de IED en el conjunto del sector minero.

Como se puede observar en la parte baja de la figura 30, la IED en carbón es el subsector que mayoritariamente recibe flujos de inversión extranjera pasando de 405 a 2.035 millones de dólares, lo cual corresponde a una tasa de crecimiento promedio anual de 15,80%¹⁵⁵ y una participación promedio de 86% entre 2001 y 2011, sin tener en consideración los años 2007 y 2008 (al incluirlos el porcentaje de participación promedio asciende al 97%)¹⁵⁶.

¹⁵³ Conforme a los registros de producción de la UPME y los registros de asignación y liquidación de regalías de la Agencia Nacional de Minería, estos minerales conforma mayoritariamente el sector minas y canteras, no obstante los flujos de IED se concentran en pocos minerales, siendo el carbón el mineral que más IED recibe con más del 85% en promedio.

¹⁵⁴ La información disponible por categoría reportada por la UPME se encuentra agrupada en tres subgrupos: i) extracción de carbón, lignito y turba; ii) extracción de minerales metalíferos y, iii) reinversión de utilidades y otras actividades. Además sólo se dispone de datos anuales para el período 2001-2011, y primer trimestre de 2012.

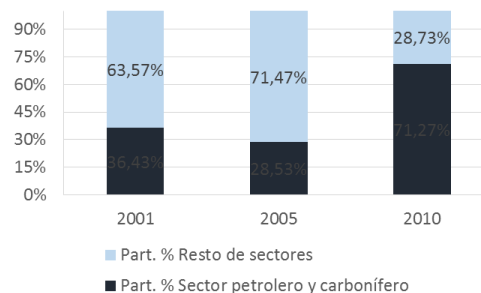
¹⁵⁵ Cabe de destacar que la tasa de crecimiento de la IED en el consolidado del sector minería fue un poco menor: 15,46% promedio anual.

¹⁵⁶ En 2007 y 2008 la participación de la IED en carbón superó el 100%, esto se debe a que en el cálculo se computa tanto la IED en extracción como la IED en reinversión por lo que la suma supera la IED del sector minería en estos dos años.

IED por sectores, valor y porcentaje de participación del total

Año	IED Total	Sector petrolero	Part. % Sector petrolero	Sector carbonífero	Part. % Sector carbonífero	Sector petrolero y carbonífero	Part. % Sector petrolero y carbonífero	Resto de sectores	Part. % Resto de sectores
2001	2.541,9	520,8	20,5	405,3	15,9	926,0	36,4	1.615,9	63,6
2002	2.133,7	449,1	21,0	458,2	21,5	907,4	42,5	1.226,3	57,5
2003	1.720,5	277,9	16,2	500,5	29,1	778,4	45,2	942,0	54,8
2004	3.115,8	494,9	15,9	1.141,1	36,6	1.635,9	52,5	1.479,9	47,5
2005	10.235,4	1.124,6	11,0	1.795,4	17,5	2.920,0	28,5	7.315,4	71,5
2006	6.750,6	1.995,0	29,6	1.623,5	24,1	3.618,5	53,6	3.132,1	46,4
2007	8.885,8	3.333,2	37,5	1.844,5	20,8	5.177,7	58,3	3.708,0	41,7
2008	10.564,7	3.349,5	31,7	2.198,6	20,8	5.548,0	52,5	5.016,6	47,5
2009	8.035,6	2.637,4	32,8	2.858,2	35,6	5.495,6	68,4	2.540,0	31,6
2010	6.429,9	3.079,8	47,9	1.502,8	23,4	4.582,6	71,3	1.847,3	28,7
2011	14.647,8	4.699,9	32,1	2.035,2	13,9	6.735,1	46,0	7.912,7	54,0

Participación petróleo y carbón en la IED



IED por subtipo de minería, valor y porcentaje de participación en el total de la IED en minería

Año	IED en minas y canteras	Extracción de carbón, lignito y turba	Part. % Extracción de carbón, lignito y turba	Extracción de minerales metalíferos	Part. % Extracción de minerales metalíferos	Reinversión de utilidades y otras actividades	Part. % Reinversión de utilidades y otras actividades
2001	523,7	405,3	77,4	0,7	0,1	117,7	22,5
2002	466,2	458,2	98,3	1,3	0,3	6,7	1,4
2003	627,4	500,5	79,8	3,3	0,5	123,7	19,7
2004	1.246,4	1.141,1	91,5	9,9	0,8	95,5	7,7
2005	2.157,2	1.795,4	83,2	18,5	0,9	343,4	15,9
2006	1.782,5	1.623,5	91,1	30,5	1,7	128,5	7,2
2007	1.100,2	1.844,5	167,6	49,9	4,5	-794,2	-72,2
2008	1.798,3	2.198,6	122,3	98,0	5,4	-498,2	-27,7
2009	3.025,0	2.858,2	94,5	128,6	4,2	38,3	1,3
2010	1.755,0	1.502,8	85,6	205,3	11,7	46,8	2,7
2011	2.546,1	2.035,2	79,9	445,2	17,5	65,7	2,6

IED por categoría de mineral

**Figura 31. IED desagregada por tipo de minería**

Nota. Elaborado por el Autor a partir de las estadísticas de la UPME. Cifras en millones de dólares corrientes y porcentaje de participación.

Por otra parte, la participación conjunta de la IED en petróleo y en carbón de manera puntual, han recibido la mayor proporción como se ha comentado anteriormente, en especial en los últimos años. En la figuras 30 (lado izquierdo) y 31 (parte superior), se puede apreciar que las entradas de IED en 2009 y 2010 ha tenido un significativo incremento; en 2009 la IED en minería alcanzó el nivel más alto históricamente llegando a los 3.025 millones de dólares (MUS\$), de los cuales MUS\$ 2.858 fueron destinados al carbón (representando el 94,5% del total de la minería), a su vez la IED en petróleo ascendió a MUS\$ 2.637. La suma de la IED en ambos sectores representó el 68,4% de la IED total en 2009, mientras que para el año 2010 alcanzó la participación más alta en toda la historia representando el 71,2% de la IED total, lo que deja de manifiesto la gran relevancia como atractores de IED que tienen los sectores petrolífero.

La elevada participación de la IED de combustibles fósiles en la IED total, así como la elevada proporción de sus exportaciones dentro de las exportaciones totales del país evidencian la importación de este sector desde dos aspectos de gran interés para la economía nacional, de una parte, el comportamiento de las variables de producción, económicas y comerciales ponen de manifiesto la dependencia externa de estos recursos energéticos, lo cual aumente el riesgo a choques externos tanto por la volatilidad como por bajadas de los precios, y de otra parte,

guardando relación con el punto anterior representa un aspecto importante en la generación de rentas (regalías, impuestos y derechos económicos entre otros).

En cuanto a las regalías en los sectores de hidrocarburos y carbonífero también se ha experimentado un crecimiento acelerado desde comienzos de la década del noventa hasta la actualidad, aunque ha sido más pronunciado en hidrocarburos¹⁵⁷. Al igual que sucedió con el comportamiento de las exportaciones, la balanza comercial y la IED en combustibles fósiles, nuevamente la razón de este comportamiento en el caso de las regalías se puede asociar a los progresivos cambios normativos ocurridos en cada etapa de desarrollo que han permitido por una parte flexibilizar los regímenes cambiarios, de capitales e inversiones, y por otra incentivar la producción y las exportaciones, adicionalmente el continuo aumento de los precios en los últimos veinte años que ha ocasionado períodos de boom de precios tanto de petróleo y gas natural como de carbón, ha favorecido un marco de crecimiento sostenido de las regalías.

Como se mencionó anteriormente las políticas proteccionistas adoptadas en el período de sustitución de importaciones desincentivaban la entrada de capital extranjero así como las exportaciones, de igual forma en este período la regulación sobre regalías también estuvo alineada con estos preceptos: el código de petróleos (Decreto 1053 de 1953), el Acuerdo de Cartagena de 1969¹⁵⁸ y La ley 20 de 1969 que recopiló todas las leyes existentes has ese momento referentes al pago de regalías por explotación de recursos naturales no renovables. Posteriormente desde principios de los años noventa se abre una nueva etapa en la regulación del régimen de regalías en el país, esta vez bajo los preceptos de un modelo de desarrollo aperturista que propició una oleada de reformas y políticas de apertura comercial y de capitales, en este contexto en 1991 se reforma la Constitución y en materia de regalías se establecieron tres principios fundamentales recogidos en los artículos 332, 360, 361¹⁵⁹. Más

¹⁵⁷ El cómputo de las regalías en este rubro se realiza de forma agregada debido a que no se dispone de series históricas de regalías por gas natural, por lo que el término *regalías por petróleo* se utiliza como sinónimo de *regalías por hidrocarburos* en general (incluido el gas natural).

¹⁵⁸ Los acuerdos de esta reunión del Grupo Andino se registraron en la decisión 24 de 1970, que no sólo delimitó en gran medida la legislación referente a los flujos de IED hacia Colombia, sino que además también condicionaba temas relacionados con las regalías, la transferencia de tecnología extranjera y los préstamos externos para los países miembros.

¹⁵⁹ El artículo 332 definió como propiedad del Estado el subsuelo y los recursos naturales no renovables sin perjuicio de los derechos adquiridos previamente, en el artículo 360 se establece que los departamentos y municipios en los que se realiza la explotación de recursos naturales no renovables, así como en los municipios y distritos portuarios (marítimos y fluviales) por donde se transportan dichos recursos, tienen derecho a participar en las regalías y compensaciones correspondientes, finalmente el artículo 361 crea el Fondo Nacional de Regalías, cuya finalidad es la promoción de la minería, la preservación del medio ambiente y la financiación de proyectos regionales de inversión definidos como

adelante en 1994 se promulgó la Ley 141 bajo la cual se crea el Fondo Nacional de Regalías y se regula el derecho del Estado a percibir regalías por la explotación de recursos naturales no renovables, así como el establecimiento de las normas para su liquidación¹⁶⁰. Posteriormente la Ley 756 de 2002 estableció nuevos derechos de propiedad sobre las regalías y otorgó ventajas a los inversionistas para dinamizar las actividades de exploración y explotación en hidrocarburos. Además esta Ley modificó los criterios de liquidación de regalías eliminando el porcentaje fijo del 20% de regalías por la explotación de hidrocarburos, pasando a definir una escala variable de acuerdo a la producción por campo dentro de un rango del 8% al 25%.

Finalmente se establece la Ley 1530 de 2012 que reestructura el régimen de regalías del país y establece el Sistema General de Regalías, definiendo sus principios, los órganos que lo componen, distribución, liquidación y destinación de las regalías, la priorización de proyectos financiados por regalías y el sistema de monitorio, seguimiento, control, y evaluación. Con la implementación de este sistema se pretende de una parte corregir las deficiencias en cuanto a la asimetría en la distribución de las regalías, incidir más activamente en el desarrollo regional, disminuir la pobreza y tener una mayor eficiencia en la generación de rentas por regalías.

Estas transformaciones han repercutido en un dinamismo de las regalías percibidas por la explotación de los combustibles fósiles pasando de 147,6 mil millones de pesos en 1994 a 10,5 billones de pesos en 2012, lo que significa un crecimiento promedio anual del 25,17%. Este progresivo aumento de las regalías se ha presentado en todos los recursos minero energéticos, sin embargo, ha sido más elevado en hidrocarburos y carbón, especialmente desde 2005 después de la reestructuración de los sectores petrolífero y minero (creación de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, creación del nuevo sistema de contratos en concesión e implementación del nuevo código de minas -Ley 685 de 2001-), orientados hacia la atracción de la inversión en estos sectores. No obstante, a pesar de que estas modificaciones recientes en el marco regulatorio tuvieron un efecto positivo en términos agregados, a nivel regional no tuvieron un efecto equitativo en la distribución de regalías por departamento¹⁶¹ hecho que la Ley 1530 de 2012 pretende corregir.

prioritarios en los planes de desarrollo de las respectivas entidades territoriales (Constitución Política de Colombia, 1991).

¹⁶⁰ En 1995 se expide el Decreto 620 que establece los parámetros para el control y vigilancia de las regalías directas, así como de las correspondientes al Fondo Nacional de Regalías, con el fin de crear un sistema de control y vigilancia sobre la generación, liquidación y distribución de las regalías establecidas en la Ley 141 de 1994.

¹⁶¹ Este punto se analizará en el siguiente numeral.

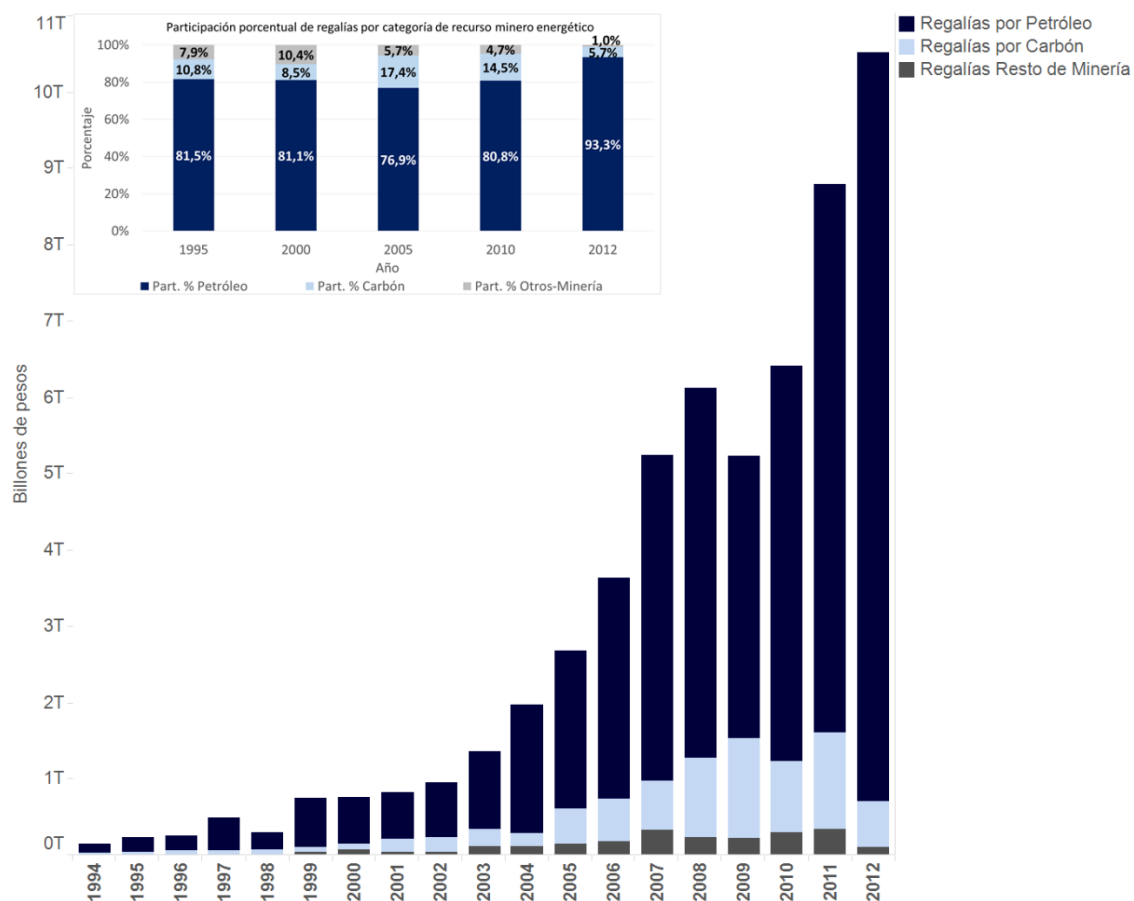


Figura 32. Regalías por tipo de recurso minero energético

Nota. Elaborado por el Autor a partir de la estadísticas de la UPME y la ANH.

A pesar del notorio crecimiento de las regalías de forma agregada al entrar de forma detallada en su composición se observa que la mayor proporción corresponde a las regalías por petróleo, seguida por las regalías de carbón, y en menor medida por las regalías del resto de sector minero. En la figura 32 se puede observar la tendencia en la participación de las regalías por petróleo las cuales han representado de media cerca del 80% de las regalías totales, alcanzando la participación más alta en 2012 con el 93%. En cuanto a las regalías por carbón, estas han representado de media el 13,8% entre 1994 y 2012, alcanzando la mayor proporción en 2009 con 25% de las regalías totales.

Por otra parte, entre las rentas de los recursos minero energéticos también se destaca la recaudación fiscal, los dividendos de la empresa colombiana de petróleo -ECOPETROL-¹⁶² de propiedad de la nación y en menor medida los derechos económicos por la explotación de recursos. Estos tres rubros conforman los aportes de los sectores petrolífero y carbonífero al Gobierno Central los cuales pasaron de 2,6 billones de pesos en el año 2000 a 18,7 billones de

¹⁶² En este rubro sólo se computa los dividendos de la compañía nacional de petróleo, puesto que no se dispone de información para el caso del carbón.

pesos en 2012 (cuadro 20), es decir que en estos 13 años se multiplicó por 7 los aportes del sector combustibles fósiles (crecimiento anual promedio de 16,45%).

Cuadro 20. Rentas de los combustibles fósiles

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Hidrocarburos													
Impuesto de renta [1]	1,5	1,3	1,2	2,0	2,4	3,5	3,7	3,9	7,0	3,5	5,2	11,6	10,2
Dividendos de Ecopetrol* [2]	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	2,0	3,3	4,2	7,9	3,3	5,3	7,0
Derechos económicos contratos ANH [3]	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,5	0,7	0,7
Carbón													
Impuesto de renta [1]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4	0,3	0,7	0,5	0,5	1,0	0,8
Total Aportes al Gobierno Central	2,6	2,4	2,4	3,2	3,9	5,2	6,0	7,5	12,1	12,1	9,5	18,5	18,7
Ingresos corrientes del Gobierno Central [1]	19,3	24,9	27,6	32,3	37,9	43,6	52,8	60,2	67,0	68,9	70,2	86,6	99,2
Aportes al Gobierno Central (Part. %)	13,4%	9,8%	8,6%	9,9%	10,4%	11,9%	11,4%	12,4%	18,0%	17,6%	13,5%	21,4%	18,8%
Regalías por petróleo [4]	0,6	0,6	0,7	1,0	1,7	2,1	2,9	4,3	4,9	3,7	5,2	7,2	9,8
Regalías por carbón [4]	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	0,6	1,0	1,3	0,9	1,3	0,6
Regalías por otros-Minería [4]	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1
Total Regalías [4]	0,8	0,8	1,0	1,4	2,0	2,7	3,6	5,2	6,1	5,2	6,4	8,8	10,5
Total Aportes al Estado	3,3	3,3	3,3	4,6	5,9	7,9	9,7	12,7	18,2	17,3	15,9	27,3	29,2
PIB a precios corrientes [5]	208,5	225,9	245,3	272,3	307,8	340,2	383,9	431,1	480,1	504,6	544,9	619,9	665,4
Part. % de los Aportes al Estado sobre el PIB	1,6%	1,4%	1,3%	1,7%	1,9%	2,3%	2,5%	3,0%	3,8%	3,4%	2,9%	4,4%	4,4%
Part. % de las regalías sobre el PIB	0,4%	0,4%	0,4%	0,5%	0,6%	0,8%	0,9%	1,2%	1,3%	1,0%	1,2%	1,4%	1,6%

Nota. Adaptado de “informe Estadístico Petrolero” de la ACP y cálculos propios. Cifras en billones de pesos corrientes.

*dividendos generados en el año fiscal anterior. [1] Fuente: DIAN. [2] y [3] Fuente: ACP – con base en el Balance Fiscal Anual Gobierno Nacional Central 1994-2012, y la ANH. [4] Fuente: DNP y ANH; y [5] Fuente: base de datos WDI del Banco Mundial.

Al desagregar estos aportes se encuentra que el impuesto de renta en el sector petrolero representó la mayor proporción seguido por los dividendos de Ecopetrol, los derechos económicos y el impuesto de renta del sector carbonífero. Además estos ingresos representaron en promedio entre los años 2000 y 2012 el 14% de los ingresos corrientes del país, alcanzando los niveles más altos en 2011 y 2012 con 21,4% y 18,8%, esto significa de los impuestos, dividendos y derechos económicos representaron cerca del 20% de la recaudación fiscal total del país en estos dos últimos años dejando ver de esta manera su importancia en la estructura recaudatoria. Asimismo, si a lo anterior se suman los ingresos percibidos por regalías las rentas totales de los combustibles fósiles ascienden a 29,2 billones de pesos en 2012, representando una tasa de crecimiento anual promedio de 18,13% y una participación media del 3% del PIB en el período 2000-2012.

En síntesis el sector de combustibles fósiles ha atravesado varias etapas y reestructuraciones que le han permitido tener un mayor dinamismo en las últimas dos décadas y que se han reflejado en algunos de los principales indicadores macroeconómicos, como por ejemplo, la participación del PIB minero energético ha pasado de representado cerca del 5% del PIB total a poco menos del 10% del PIB total en los últimos años, el creciente superávit de la balanza

comercial de estos recursos, y el elevado volumen, participación y tasa de crecimiento de las exportaciones, la IED, la recaudación fiscal y las regalías de los combustibles fósiles entre otros aspectos, como la generación de encadenamientos productivos y la participación del sector en el empleo. No obstante, en lo referente al impacto regional el balance no es tan favorable, tanto por las asimetrías entre regiones productivas y no productivas, como por la ineficiencia e inequidad en la asignación de las regalías en los departamentos para financiar el desarrollo regional. En este aspecto los trabajos de Perry, Ogunkola, Olivera, & Fowowe (2010); Perry & Olivera (2009); Perry et al. (2012), así como los trabajos de Olivera, Zuleta, Aguilar, & Osorio (2011), Cárdenas (2005), Cárdenas & Reina (2008) y Martínez & Aguilar (2012, 2013) presentan una débil evidencia sobre el efecto del petróleo y la minería en el desarrollo regional, además, autores como Bonet (2006), Bonet & Urrego (2014) y Bonet, Guzmán, Urrego, & Villa (2014) también evidencian las disparidades regionales tanto en términos de convergencia como en aspectos socioeconómicos, en las que se relaciona la influencia del petróleo y la minería. En este contexto el siguiente numeral presenta un análisis desagregado de la dinámica de los combustibles fósiles en la economía tanto a nivel nacional como por departamentos identificando el efecto de estos en el desarrollo regional.

2.3. DINÁMICA NACIONAL Y REGIONAL DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

A lo largo del apartado 2.2 se contrastó la evolución de los hidrocarburos y el carbón tanto en las variables operativas (reservas, producción y exportaciones), como en las económicas (PIB minero energético, IED, Regalías, impuestos), observando que según las etapas del desarrollo la relevancia y ritmo de crecimiento del sector fue incrementándose. No obstante, la relación de los combustibles fósiles a nivel regional presentó particularidades que en algunos casos divergen del comportamiento agregado, por lo que en este apartado se analiza el vínculo de la explotación de hidrocarburos y carbón en la dinámica de desarrollo de los entes territoriales (Departamentos productores y no productores).

2.3.1. Relación entre algunos agregados económicos relevantes y los combustibles fósiles a nivel nacional

Para analizar la relación entre los combustibles fósiles y la economía se compara la evolución del PIB per cápita constante y algunos de los indicadores más utilizados en la literatura sobre hidrocarburos y minería como por ejemplo las exportaciones, la IED y las regalías, como se

puede encontrar en autores como Cárdenas & Reina (2008) Fedesarrollo (2007); Fernández & Villar (2014); Martínez & Aguilar (2012, 2013); Perry et al., (2010)¹⁶³.

La creciente participación de los combustibles fósiles en períodos recientes se ha reflejado como se describió anteriormente en algunos indicadores asociados al sector, y que son significativos por su repercusión en la economía en su conjunto, por lo que se puede esperar la existencia de una relación positiva entre la actividad económica en conjunto y las variables económicas propias de sector de los combustibles fósiles. En este sentido se esperaría una relación positiva entre el PIB y variables como las exportaciones, la IED, las regalías y la tributación de los sectores petrolífero y carbonífero; puestos que el PIB se puede interpretar como un indicador del estado de la economía en su conjunto y las distintas variables asociadas a la extracción de recursos naturales no renovables reflejarían el comportamiento sectorial.

Siguiendo la práctica usual en la literatura (Brunnschweiler & Bulte, 2008; Sachs & Warner, 1995), se presenta en la figura 33 la relación entre la tasa de crecimiento del PIB per cápita en precios constantes de 2005 y la tasa de crecimiento de las exportaciones en pesos corrientes¹⁶⁴ de petróleo, gas natural y carbón por separado. Los gráficos de dispersión evidencian una relación inversa entre la tasa de crecimiento de las exportaciones y la tasa decrecimiento del PIB, incluso en el caso del gas natural del que únicamente se dispone información para cinco años (como se mencionó en la sección 2.1, las exportaciones de gas natural iniciaron desde el año 2007). Aunque este análisis descriptivo no es suficiente para extraer conclusiones acerca de la relación entre estas dos variables (el análisis empírico se desarrolla en la sección 2.4), si resulta llamativo que conforme al extraordinario comportamiento de las exportaciones de petróleo, gas natural y carbón, analizado en la secciones 2.2 y 2.2.1, se obtenga correlaciones negativas (-0.175, -0.140 y -0.166 respectivamente).

¹⁶³ Sin embargo, a pesar de utilizar las mismas variables el método seguido en esta investigación difiere levemente al incorporar el análisis de correlaciones.

¹⁶⁴ De esta forma se captura la intensidad de las exportaciones de recursos naturales sobre el crecimiento económico en términos reales.

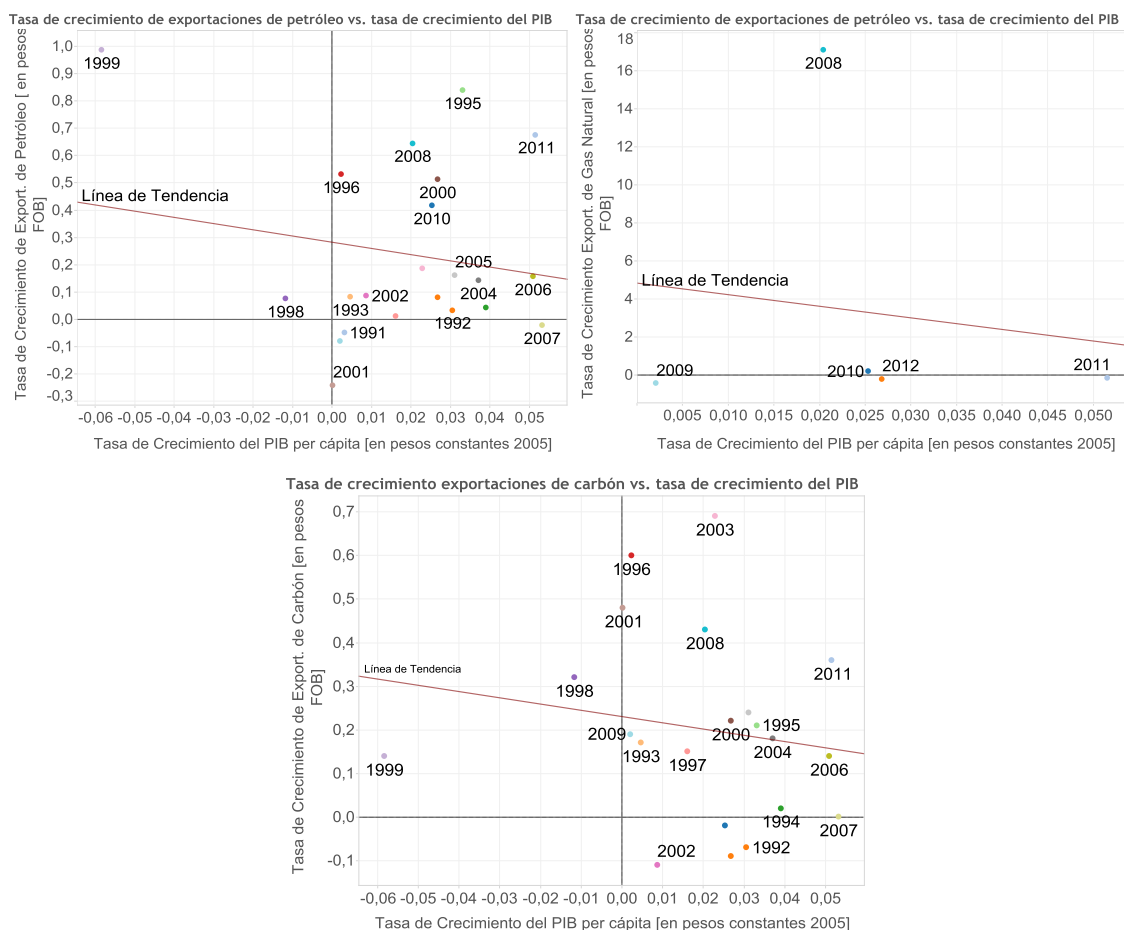


Figura 33. Relación entre la tasa de crecimiento de las exportaciones de combustibles fósiles y la tasa de crecimiento del PIB

Nota. Elaboración por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015, y estadísticas de la UPME. Base de datos: SIMCO. Versión: octubre de 2014. Cálculos propios.

En cuanto a la relación del PIB per cápita con la IED, las regalías y los ingresos fiscales también se podría esperar *a priori* un resultado positivo de la relación entre las variables la tasa de crecimiento del PIB per cápita, en vista de que estas variables también mostraron un buen comportamiento a lo largo del período analizado, en especial en las últimas dos décadas, sin embargo, no fue así en todos los casos.

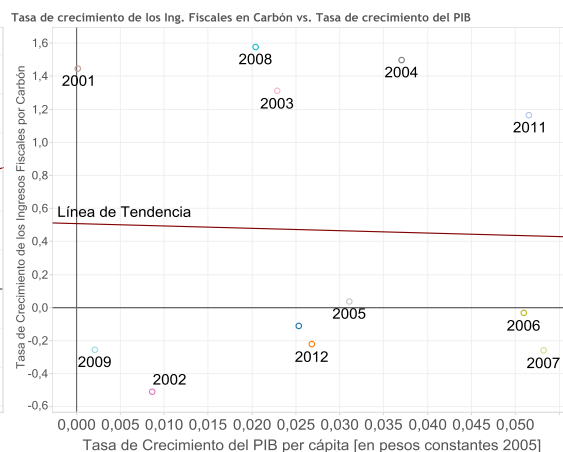
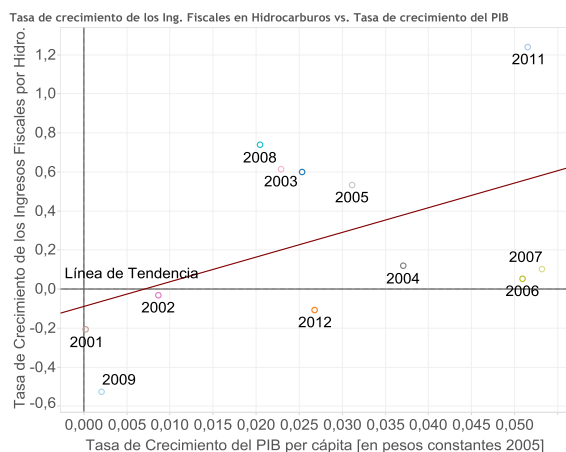
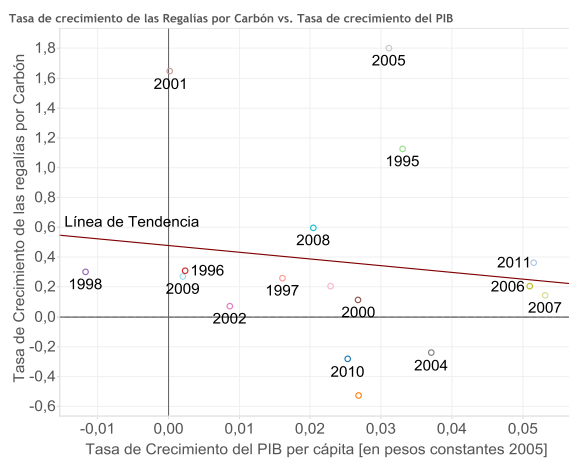
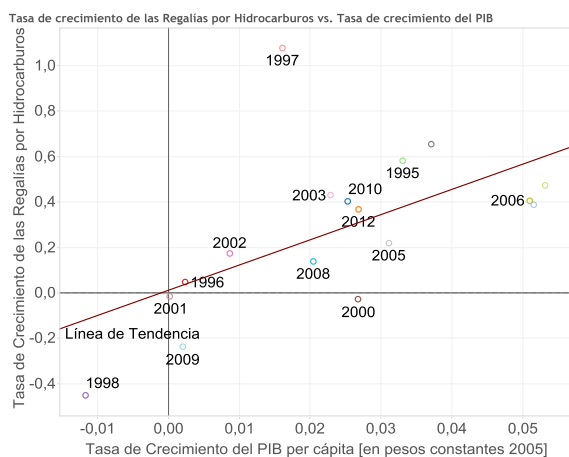
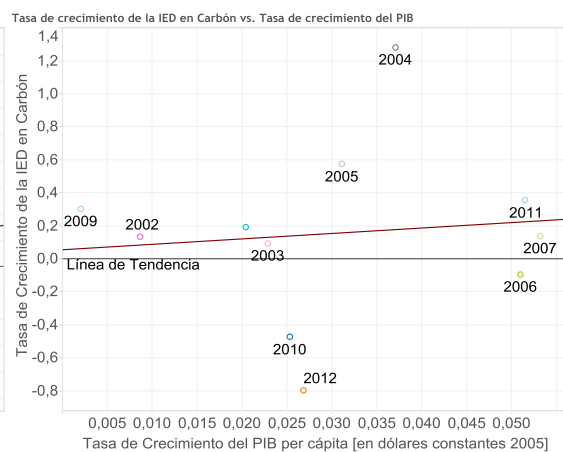
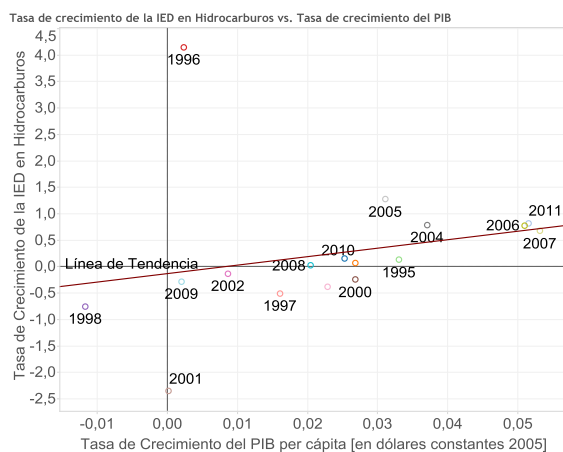


Figura 34. Relación entre las tasas de crecimiento de la IED, las regalías y la tributación en combustibles fósiles y la tasa de crecimiento del PIB

Nota. Elaboración por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015, y estadísticas de la UPME. Base de datos: SIMCO. Versión: octubre de 2014, y la ANH. Cálculos propios.

En el panel superior de la figura 34 se aprecia una relación positiva entre la tasa de crecimiento de la IED y la tasa de crecimiento del PIB, dejando ver el dinamismo del sector y el vínculo entre crecimiento e inversión. López et al., (2013) exponen que las entradas de capital extranjero bajo la forma de IED al sector petrolero dinamizan la dinámica de la actividad exploratoria (estudios sísmicos y perforación de pozos exploratorios), además de canalizar inversiones en infraestructura de transporte y de producción, lo cual es válido también para el sector carbonífero por ser un sector de minería a gran escala con altos requerimientos en bienes de capital. En línea con el planteamiento de Bernal (2012), todo esto contribuye a la Formación Bruta de Capital Físico (FBKF) que es un determinante del PIB, por lo que la relación positiva entre estas variables supone una contribución favorable de la IED en la FBKF¹⁶⁵ ya que la inversión en petróleo y carbón se realizada en mayor proporción por compañías extranjeras, aunque entrando en las particularidades, esta relación ha sido más intensa en hidrocarburos (mayor inclinación de la pendiente) que en carbón.

En cuanto a la relación entre la tasa de crecimiento de las regalías y la tasa de crecimiento del PIB, la relación es positiva en hidrocarburos y levemente negativa en carbón, este hecho llama la atención puesto que las regalías constituyen una fuente importante de ingresos, aunque si bien como se mostró en el cuadro 20, su participación promedio en el PIB en la última década estuvo alrededor del 1%, su ritmo de crecimiento en el mismo periodo ha sido muy elevado (más del 20% promedio anual), lo que supondría una participación mayor de los combustibles fósiles en los ingresos del país, en otros términos a priori se espera una relación positiva entre las variables analizadas por lo que el comportamiento en el caso del carbón debe tomarse con

¹⁶⁵ La naturaleza de la FBKF puede ser de origen interno y externo, por lo que la proporción de cada componente será mayor o menor según el grado de apertura de la economía. En este sentido la Formación Bruta de Capital Físico puede escribirse de la siguiente manera:

$$FBCF_T = FBCF_N + IED$$

FBKF_T: Formación Bruta de Capital Fijo Total

FBKF_N: Formación Bruta de Capital Fijo Nacional

IED: Inversión Extranjera Directa

precaución, puesto que hace falta un análisis más robusto para establecer el tipo de relación entre crecimiento económico y regalías¹⁶⁶.

Una posible interpretación alternativa podría ser que la relación entre tasa de crecimiento de las regalías y tasa de crecimiento del PIB en carbón a nivel agregado reflejaría la relación entre las variables a nivel desagregado, es decir a nivel regional, puesto que el marco normativo que rigió en la mayor parte de la serie histórica analizada privilegiaba a los departamentos productores y penalizaba a los no productores generando asimetrías en el reparto de las regalías, y por tanto afectaba la capacidad de los departamentos para financiar su desarrollo territorial; esta hipótesis también será contrastada posteriormente.

Una tendencia similar a la anterior ocurrió en el caso del comportamiento de los impuestos, es decir, la relación es positiva en hidrocarburos y levemente negativa en carbón. En este punto los ingresos fiscales petrolíferos presentaron una tendencia creciente mayor a los del carbón a pesar de la contracción en la producción entre los años 1997-2007 (ver figura 14), en otras palabras, fue el incremento en los precios del petróleo (y gas natural) lo que sostuvo los ingresos del sector y por tanto también de la recaudación tributaria, reflejado tanto en su tasa de crecimiento como en su participación en el PIB (ver cuadro 20). Por el contrario, la producción (figura 17) y precios del carbón presentaron un crecimiento sostenido contribuyendo conjuntamente a una mayor recaudación tributaria por este mineral, no obstante, los niveles y tasa de participación en los ingresos del país son mucho más bajos que los del petróleo, lo que podría explicar la relación inversa entre las tasas de crecimiento de impuestos y PIB.

En lo referente al aspecto ambiental las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), del sector combustibles fósiles presentaron en conjunto una tendencia ascendente entre 1975 y 2010.

¹⁶⁶ En análisis se realizará en el numeral 2.4.4., utilizando técnicas econométricas y el soporte teórico correspondiente.

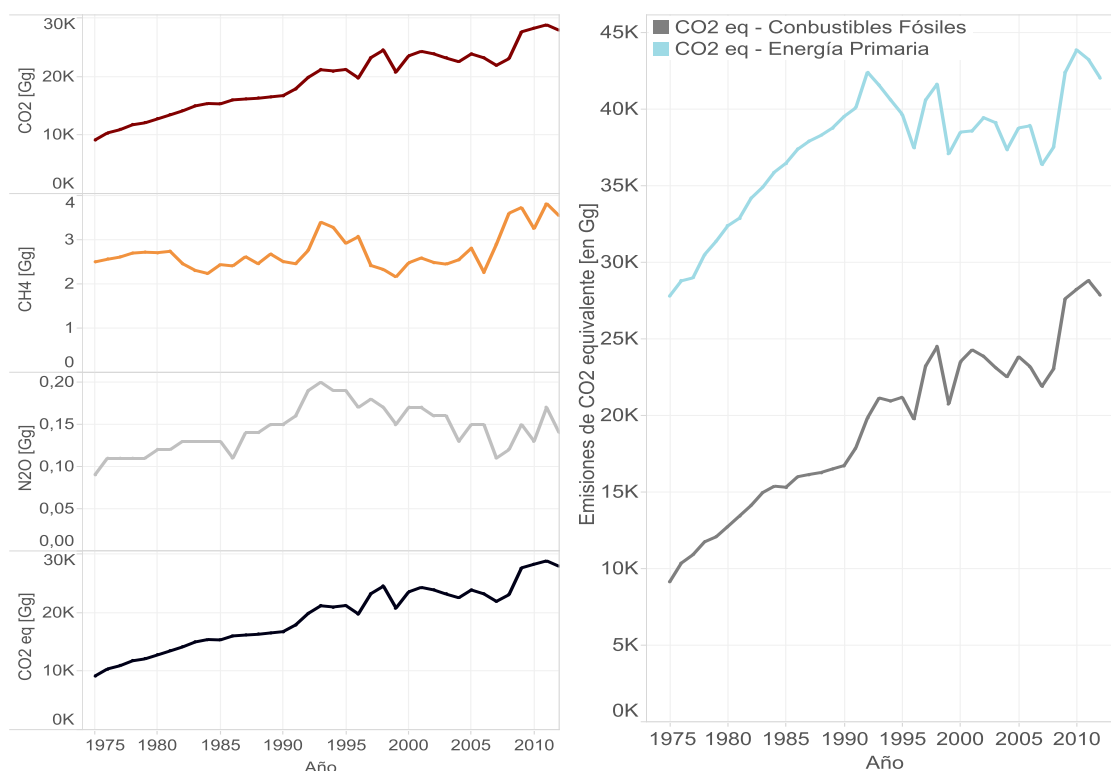


Figura 35. Emisiones totales de CO₂ de combustibles fósiles

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Balance Nacional Energético de la UPME.

Gg: Unidad de medida de masa empleada para las emisiones de GEI, equivale a 10⁹ gramos. Un giga gramo equivale a 1 tonelada.

En conjunto las emisiones totales de CO₂¹⁶⁷ equivalente (en Gg) para los combustibles fósiles crecieron a un ritmo de 3% anual y además representaron de media cerca del 50% de las emisiones de la energía primaria. Al desagregar las emisiones totales de CO₂ equivalente de combustibles fósiles por tipo de emisión se observa un ligero aumento de las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), mientras que las emisiones de CO₂ fueron las más representativas pasando de 9.135 Gg en 1975 a 27.888 Gg en 2010 (figura 35). Aunque el sector combustibles fósiles no es la principal fuente en las emisiones de CO₂ equivalente en el conjunto de las fuentes de emisión, su análisis dentro de sector es importante, tanto por las emisiones de consumo (quema de combustibles fósiles) y como totales.

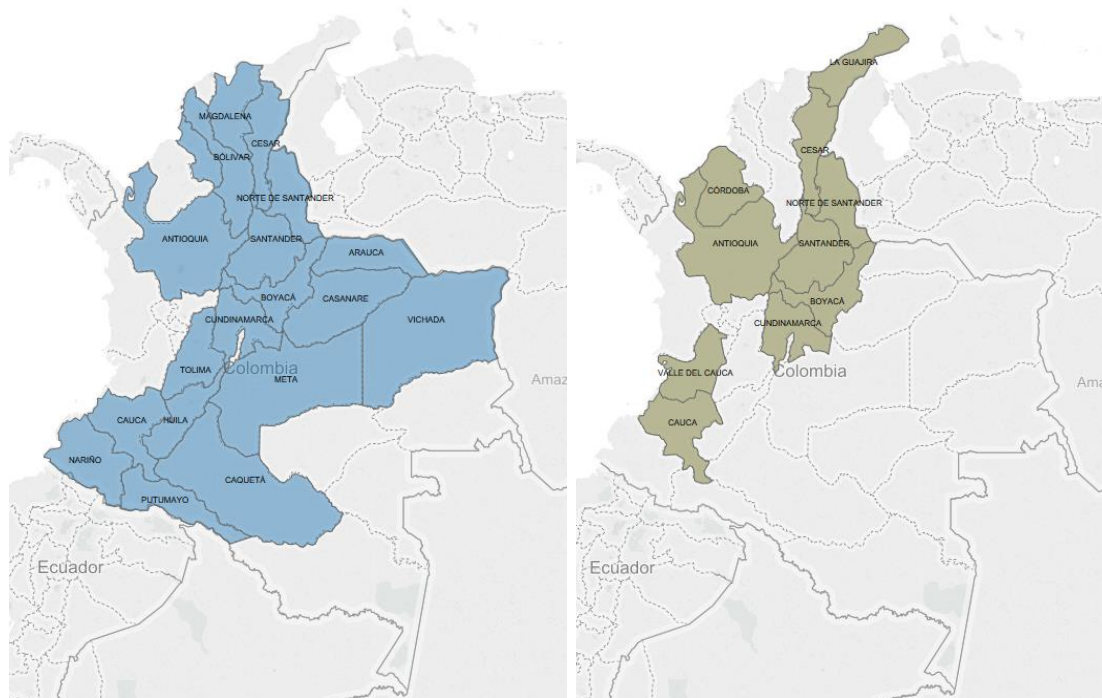
En resumen en el caso del petróleo y gas natural, aparentemente la variable externa (exportaciones) presenta una relación inversa con el crecimiento económico, correspondiéndose con la hipótesis de la paradoja de la abundancia (Sachs & Warner, 1995,

¹⁶⁷ Las emisiones de efecto invernadero representadas en unidades de CO₂ equivalente, están compuestas las emisiones de CH₄, N₂O y CO₂, expresadas en la misma unidad de medida, normalmente en giga gramos (Gg).

2001), mientras que con relación a las variables internas¹⁶⁸, IED, regalías e impuestos, la relación apunta a ser positiva. En cuanto al Carbón únicamente la IED presenta una relación positiva. Sin embargo, como se mencionó antes este análisis será desarrollo de forma más detallada en el apartado 2.4.

2.3.2. Distribución territorial de los combustibles fósiles y asimetría entre regiones. Impactos y comportamiento de las variables económicas y sociales

La presencia de combustibles fósiles se extiende en gran parte del territorio nacional, de los 32 departamentos que tiene el país se encuentra hidrocarburos en 21, y carbón en 10 departamentos (mapa 2), además en nueve departamentos se produce conjuntamente hidrocarburos y carbón (en el caso del departamento de La Guajira se produce carbón y gas natural).



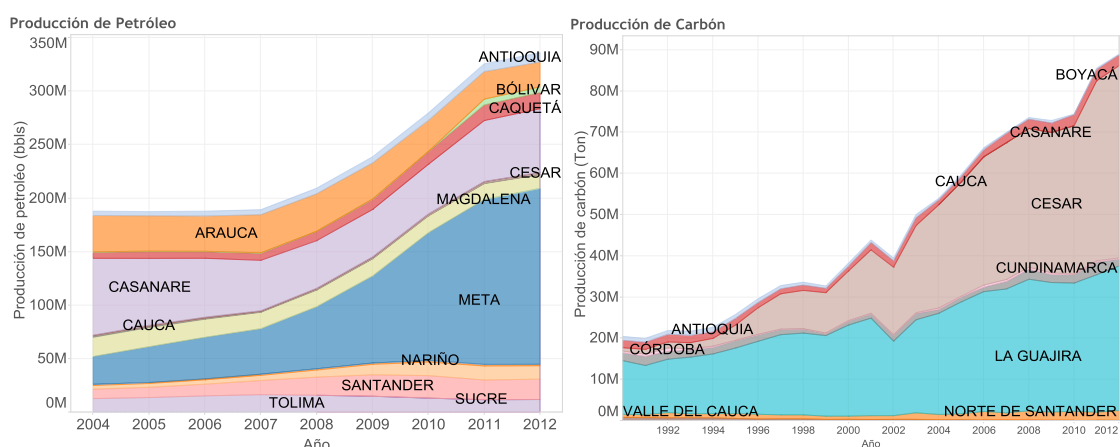
¹⁶⁸ A pesar de que la IED y las regalías se producen por la inversión extranjera y la entrada de divisas por explotación de los recursos su impacto es local, frente a la IED debido a que las inversiones se emplazan en las zonas donde se explora o explota el recurso, y frente a las regalías, debido a que estas se distribuyen entre los departamentos y municipios productores, y distritos portuarios (regalías directas) que financian el desarrollo regional y local, además otra parte de las regalías se destinan a entes territoriales no productores, programas y fondos (regalías indirectas) que también actúan como fuentes de promoción del desarrollo económico y social. Por lo que el que se puede considerar la IED y las regalías como variables internas.

Mapa 2. Departamentos productores de petróleo, gas natural y carbón

Nota. Elaborado por el Autor.

Puesto que estos departamentos representan el 66% de los entes territoriales, concentran la mayor proporción tanto de la población como del PIB nacional, sin embargo, el comportamiento de estos departamentos es muy asimétrico tanto en las variables económicas como sociales y las relacionadas propiamente con los combustibles fósiles¹⁶⁹. A continuación se describe los aspectos más relevantes de la heterogeneidad entre regiones.

En primer lugar la participación en la producción de petróleo por departamento tiene una marcada concentración en el departamento del Meta, seguida por Casanare y Arauca (con una producción promedio anual entre 2004 y 2012 de 79.7, 54.2 y 31.3 millones de barriles), además en estos tres departamentos se concentra más del 75% de la producción nacional. En cuanto al carbón la producción históricamente se ha concentrado en la zona norte del país en los departamentos de La Guajira y Cesar, que de media han representado el 80% de la producción nacional entre 1990 y 2012. La figura 35 presenta la evolución de la producción de petróleo y gas natural, en el primer caso entre 2004 y 2012 y en el segundo caso entre 1990 y 2012. El notable incremento de la producción desde mediados de la década pasada se debe en gran medida las transformaciones institucionales y normativas realizadas a comienzos de la década como la expedición del código de minas de 2001 y la reestructuración del sector en 2003 con la escisión de Ecopetrol, que dio lugar a la creación de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, y la nueva regulación en materia de contratación para la exploración y explotación de recursos naturales no renovables.



¹⁶⁹ Para el análisis desagregado por departamentos, la serie histórica de producción y reservas se encuentra para el caso de hidrocarburos se encuentra disponible sólo para el petróleo por lo que en este apartado se describe las variables de petróleo y carbón únicamente.

Figura 36. Producción del de petróleo y gas natural por departamento

Nota. Elaborado por el Autor a partir de la información estadística de la UPME

Esta concentración de la producción de combustibles fósiles en los departamentos del Meta Casanare, Arauca La Guajira y Cesar (figura 36), guarda una estrecha relación con la estructura productiva regional ya que no sólo la mayor proporción de la producción de petróleo y carbón se concentra en estos departamentos sino que a la vez estos sectores representan la mayor actividad económica para estos departamentos, por encima de la producción industrial o agrícola. Según los registros del Departamento Nacional de Estadísticas de Colombia (DANE) los departamentos con el PIB minero energético con mayor representatividad entre 2000 y 2012 fueron en su orden los departamentos de Casanare, Meta, cesar, La Guajira, Arauca, Huila, Córdoba, Antioquia, Santander, Tolima, Boyacá y Putumayo, aunque fue en los cinco primeros donde el PIB minero energético presento un nivel mayor frete a los demás departamentos dentro de la misma subcategoría. Conforme a los datos del DANE el acumulado del PIB¹⁷⁰ por subsector entre el 2000 y el 2012 para el departamento del Casanare ascendió 72.306 miles de millones de pesos (MM\$), seguido por el departamento del Meta con MM\$ 57.255.

¹⁷⁰ En miles de pesos de pesos constantes de 2005

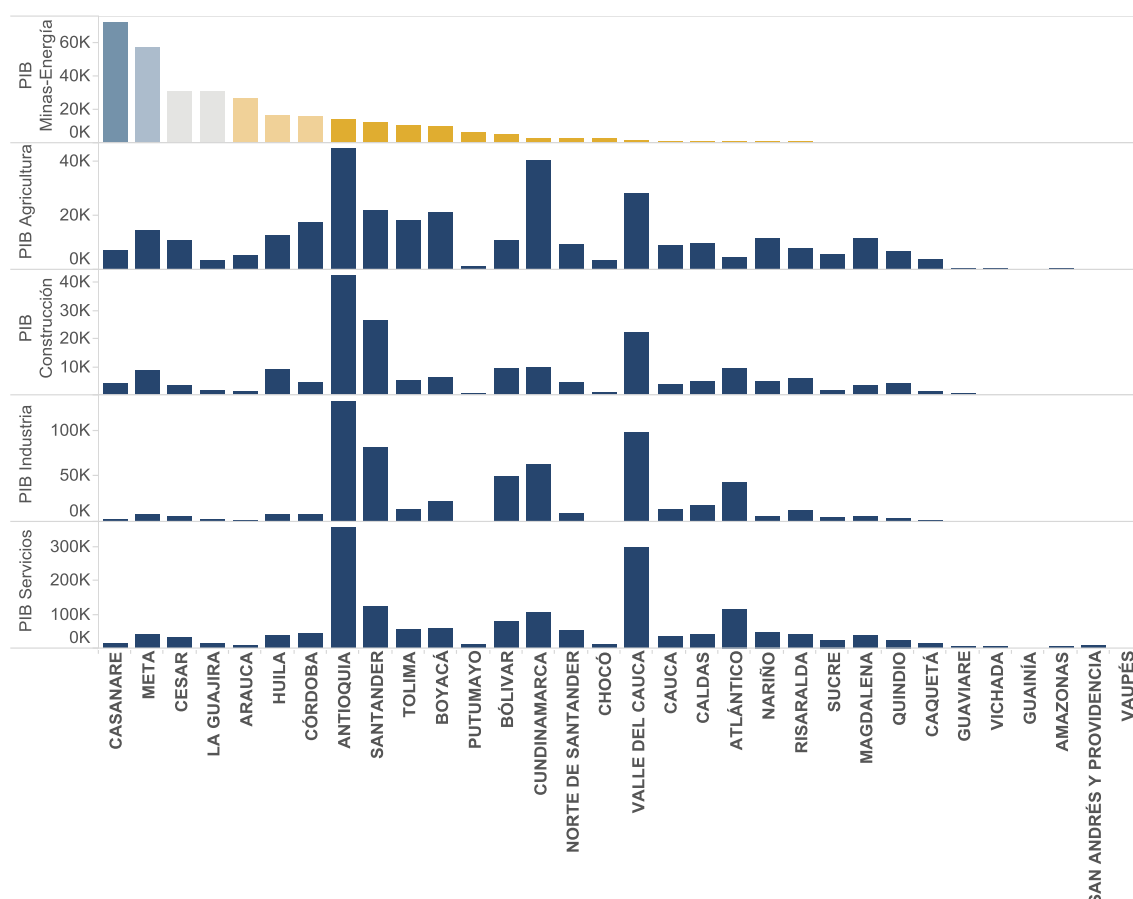


Figura 37. PIB por grandes ramas de actividad económico y por departamento

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del DANE. Base de datos: Cuentas Departamentales. Versión mayo 2014.

En la figura 37 también se puede observar que en los primeros cinco departamentos aparte de ser los más representativos en el PIB minero energético, la segunda actividad productiva más importante es la agricultura aunque con mucho menor peso. Por otra parte, Antioquia y Santander son los únicos departamentos en los que el PIB industrial, servicios y construcción fueron mayores que el PIB minero energético.

Continuando con la relación entre combustibles fósiles y PIB, otro aspecto relevante es la comprobación de una posible convergencia regional¹⁷¹ y el nexo que podría tener con la actividad petrolífera y carbonífera. En este sentido se utiliza la metodológica de “Análisis de Cuadrantes de Desempeño Departamental” para observar el desempeño económico de los departamentos tanto productores como no productores de combustibles fósiles.

¹⁷¹ Según la teoría en el largo plazo las economías más pobres tienden a crecer más rápido que las economías ricas, por lo que las primeras convergen en el tiempo a un nivel próximo a las segundas, reduciendo así las disparidades. Formalmente la convergencia se presenta cuando la tasa de crecimiento del producto per cápita tiene una relación inversa en relación con el nivel inicial de producto per cápita. Este concepto ha sido utilizado ampliamente en la literatura empírica del desarrollo regional (León & Ríos, 2013)

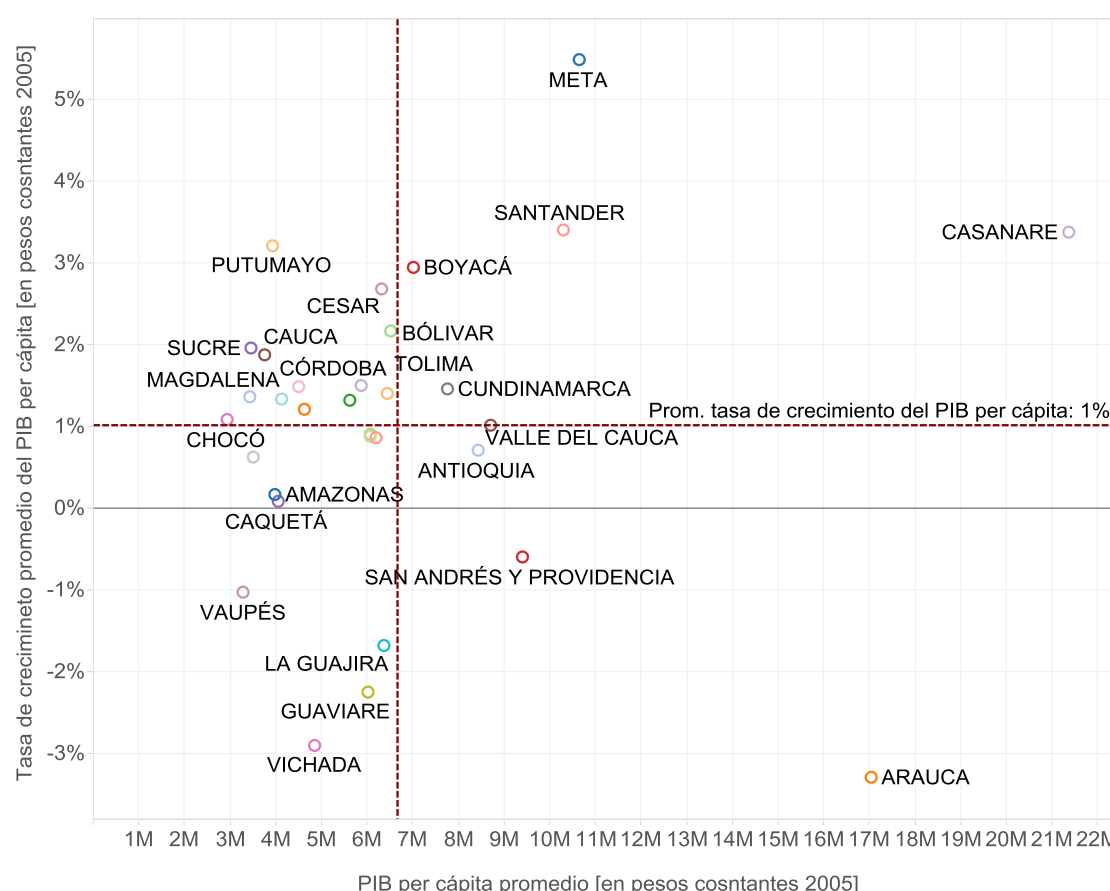


Figura 38. Convergencia departamental

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del DANE. Base de datos: Cuentas Departamentales. Versión mayo 2014.

Para el análisis se utiliza el PIB per cápita en precios constantes de 2005 para los 32 departamentos y para el período 1990-2012, utilizando en eje horizontal el PIB per cápita promedio y en el eje vertical la tasa de crecimiento promedio del PIB per cápita. En la figura 38 se observa que los departamentos más dinámicos son Meta y Casanare, que presentaron la tasa de crecimiento y el nivel promedio del PIB per cápita más altos. Esto indica que de media tanto su PIB per cápita como la tasa de crecimiento del mismo han crecido por encima de la media nacional (cuadrante superior derecho). Otros departamentos productores de combustibles fósiles ubicados en este cuadrante son: Santander, Boyacá, Cundinamarca y Valle del Cauca, de los cuales en Casanare y Meta el PIB minero energético es el subsector más representativo. De otro lado, los departamentos menos dinámicos son Chocó, Risaralda, Caldas, Huila, Amazonas, Caquetá, Vaupés, La Guajira, Guaviare y Vichada, los cuales tanto su nivel promedio como su tasa de crecimiento promedio del PIB per cápita están por debajo del promedio nacional, de los cuales La Guajira no sólo es el departamento productor con el menor dinamismo, a pesar de que es el departamento con una de las mayores producciones

de gas natural y carbón, sino que además su PIB minero energético el más representativo dentro de su estructura productiva total, con el agravante de que su PIB industrial, servicios y construcción son marginales. En resumen la convergencia regional se cumple levemente y los resultados expuestos son consecuentes con los presentados por Perry et al. (2012) entre otros autores, que encuentran que los departamentos productores de hidrocarburos crecen más que otros departamentos con su mismo nivel de PIB per cápita; salvo por La Guajira y Arauca los departamentos petroleros crecen por encima de la media nacional¹⁷².

En cuanto a las regalías directas los departamentos de Casanare, Meta, La Guajira, Huila, Cesar y Santander son los principales receptores, siendo nuevamente el Departamento del Casanare el que ha recibido la mayor cantidad de regalías con 395.967 millones de pesos en promedio entre 1990 y 2012 (figura 39). En lo referente al comportamiento de las regalías per cápita es el departamento del Guainía el que ocupa el primer lugar¹⁷³, seguido de los departamentos de Casanare, Arauca y Meta. Sin embargo, este comportamiento presenta inequidades frente a la densidad poblacional de los departamentos receptores, puesto que departamentos con mayor proporción de habitantes reciben comparativamente menos regalías para financiar los proyectos establecidos en sus respectivos planes de desarrollo. Como señala Perry et al. (2012), este vacío estuvo presente en la normativa sobre regalías (Ley 141 de 1994 y Ley 756 de 2002)¹⁷⁴ que favorecía en mayor proporción el reparto de las regalías entre los departamentos y municipios en los que se realizaba la explotación de los recursos del subsuelo y los municipios o distritos portuarios por donde se transportaban, dejando en una situación desigual y a departamentos no productores con altos requerimientos de financiación de sus planes de desarrollo.

¹⁷² Otros trabajos que exploran la convergencia regional en Colombia y llegan a conclusiones similares son los de León & Ríos (2013), Galvis & Roca (2010), Bonilla (2008) y Bonet & Meisel (1999).

¹⁷³ Esto se debe más al hecho de que la población del departamento es relativamente pequeña, más que al volumen de regalías que recibe.

¹⁷⁴ En la actualidad el régimen de regalías se encuentra unificado en la ley 1530 de 2012 que incorpora un rango de criterios económicos y sociales más equitativos para la asignación de las regalías.

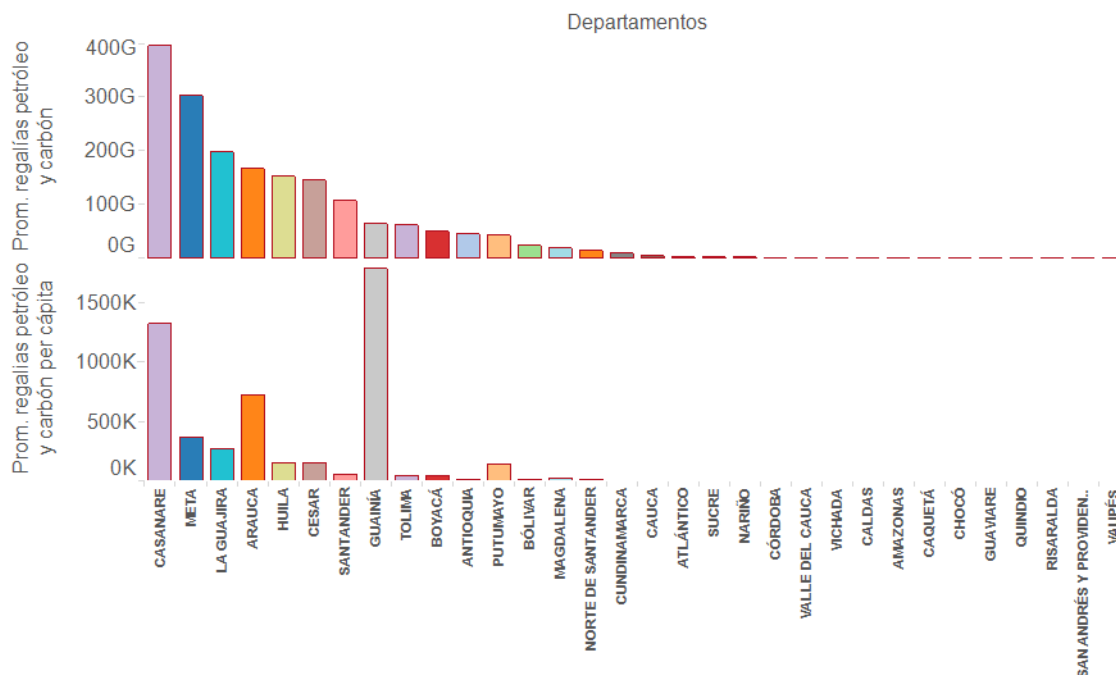


Figura 39. Promedio de regalías por combustibles fósiles y por departamento 1990-2012

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas de la UPME, la ANH y estadísticas del DANE. Base de datos: Población por Departamentales. Versión mayo 2014.

La evidencia de esta asimetría en los criterios de asignación de las regalías se observa al analizar el volumen acumulado de regalías por departamento frente a la población en términos porcentuales. El informe de “Memorias al Congreso de la República” de 2010-2011, elaborado por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, señala esta anomalía indicando que, La distribución de recursos de regalías con base en el diseño constitucional vigente genera la concentración del 80% de estos recursos en entidades territoriales que representan el 17% de la población (MMEC, 2011, p. 46). La figura 40, presenta el porcentaje del volumen acumulado de regalías por departamento dentro de la suma total de regalías entre 1994 y 2012, y la tasa de participación acumulada de la población por departamento con respecto a la población total en el mismo período. Los resultados son consistentes con el Informe mencionado más arriba, se puede observar que los departamentos de Carenare, Meta, La Guajira, Arauca, Huila, Cesar y Santander se encuentran sobre el promedio de la participación acumulada de regalías por departamento, presentando a la vez la participación media de población más baja, es decir que estos siete departamentos concentran el 81% de las regalías totales entre 1994 y 2012, y tan sólo representan en 18,2% de la población del país¹⁷⁵, mientras que el restante 80% de la población distribuida en 25 departamentos centró apenas

¹⁷⁵ El promedio de la participación acumulada del total departamental de las regalías directas se ubicó en 4,35%, superado únicamente por los siete departamentos referidos, mientras que los restantes 16 departamentos se ubicaron por debajo del promedio, dejando nuevamente la asimetría en la distribución de las regalías.

el 20% de las regalías a lo largo de ese período. Como hecho puntual se destaca que entre 1994 y 2012 los departamentos del Casanare y meta representaron menos del 1% y 2,5% de la población del país y acumularon cerca del 22% y 17% de las regalías, respectivamente.

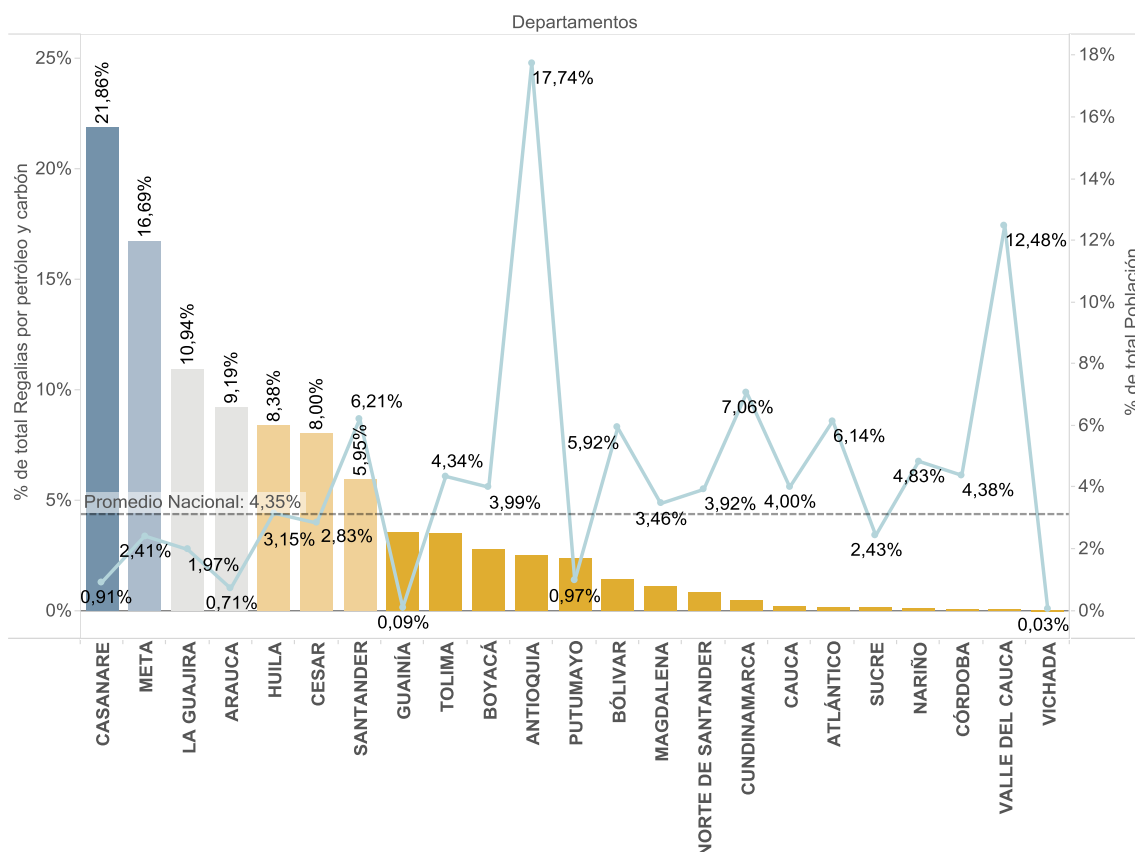


Figura 40. Principales beneficiarios de regalías por combustibles fósiles y tasas de participación por departamento en las regalías y población totales 1990-2012

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas de la UPME, la ANH y estadísticas del DANE. Base de datos: Población por Departamentales. Versión mayo 2014.

En adición a este comportamiento de las regalías en Casanare y Meta, y el hecho de que en estos dos departamento (entre otros como La Guajira, Arauca y Cesar) la principal actividad económica es la explotación petrolífera y/o carbonífera, el comportamiento se podría esperar una relación positiva entre el desarrollo regional manifestado en algunos indicadores sociales y significativa presencia de los combustibles fósiles en algunos entes territoriales.

Para analizar el comportamiento de las variables sociales se utiliza el coeficiente de Gini y el Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)¹⁷⁶, así como el Índice de Desarrollo

¹⁷⁶ El primero mide la desigualdad de ingresos y el segundo es un indicador compuesto realizado por el DANE que mide el porcentaje de personas que se encuentran expuestas a cinco componentes que no permiten cubrir sus necesidades básicas, estos componentes son vivienda inadecuada, hogares con

Departamental elaborado por el DNP. Las cifras del coeficiente de Gini se presentan para los años 2002 y 2012 revisando así la evolución reciente de este indicador, mientras que para el índice NBI, por razones metodológicas, se presentan los datos para 1993 y 2005¹⁷⁷

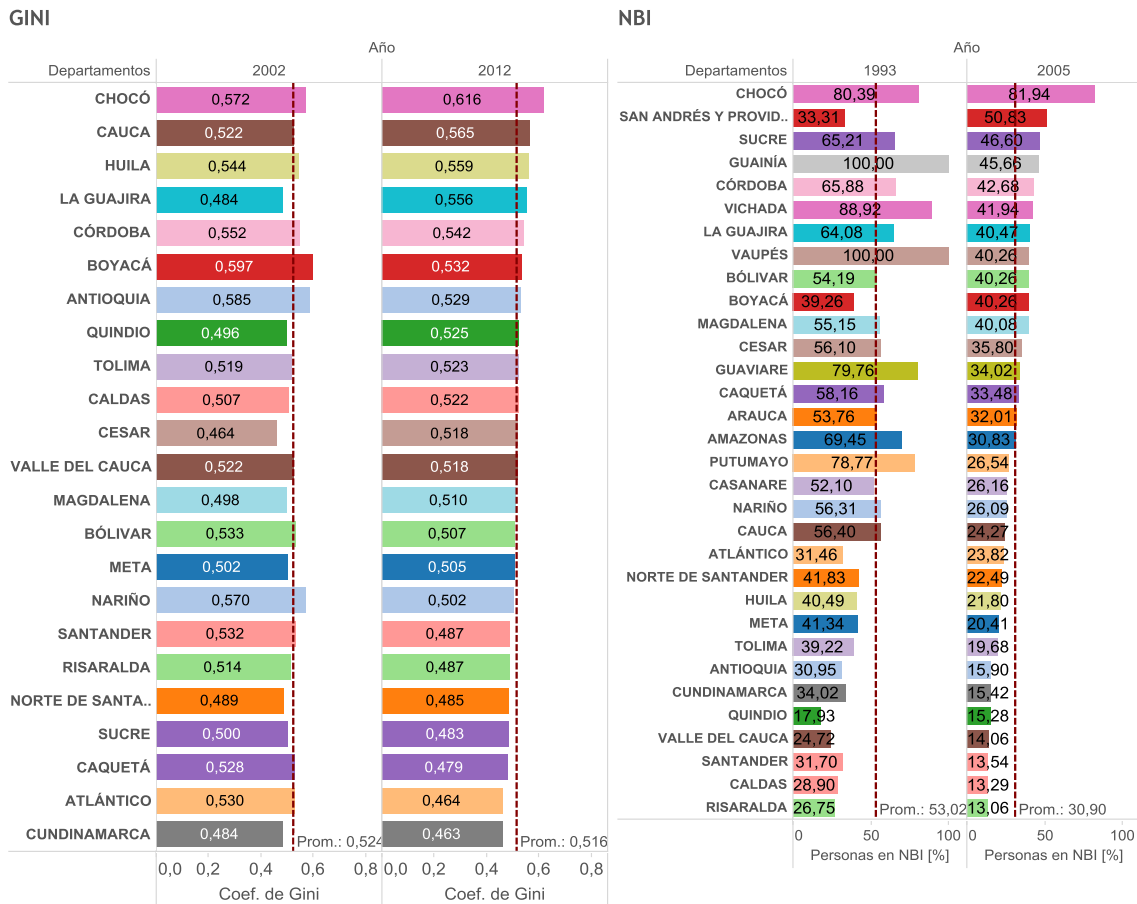


Figura 41. Coeficiente de Gini e Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas por departamento
Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del DANE. Base de datos: Indicadores sociales. Versión mayo 2014.

Con relación al coeficiente de Gini, los departamentos de Chocó, Cauca, Huila y La Guajira son los más desiguales en términos de desigualdad de ingresos al presentar no sólo los mayores valores del índice en 2012 sino que además todos presentaron un crecimiento con respecto al año 2012, en otras palabras, la desigualdad en esta década aumentó en estos departamentos

hacinamiento crítico, viviendas con servicios inadecuados, hogares con alta dependencia económica y hogares con niños en edad escolar que no asistente a centros de educación. Los datos que se presentan en la figura 30 están ordenados de forma descendente respecto a la columna del último año con el fin de identificar gráficamente en que departamentos ha aumentado más la desigualdad de ingresos y las necesidades básicas insatisfechas.

¹⁷⁷ La construcción de este Índice se realiza con la información directa de los censos, por lo que las cifras del índice IBI está disponible únicamente para los años 1985 1993 y 2005, años en los que se realizaron los censos de población en el País. Para efectos de la presente investigación se presentan los datos de 1985 y 2005 por ser los más recientes permitiendo contrastar el comportamiento de los departamentos productores de combustibles fósiles con este indicador en el período en que la producción de estos recursos inició su fase de mayor crecimiento.

incluso por encima del promedio nacional, al vez que fueron los departamentos más desiguales de todo el país en términos de ingresos. Además de los cinco primeros departamentos más desiguales cuatro son productores de combustibles fósiles. Cabe mencionar que departamentos no productores como Risaralda y Atlántico presentan el comportamiento contrario, es decir, que se ubican por debajo del promedio nacional, hace parte de los departamentos menos desiguales y en la década 2002-2012 la desigualdad disminuyó (figura 41, lado izquierdo).

Respecto al índice de necesidades básicas insatisfechas Choco, San Andrés y Providencia, Sucre, Guainía, Córdoba, Vichada, La guajira, Bolívar, Boyacá, Magdalena y Cesar presentaron los índices más elevados en 2012 superando el promedio nacional, aunque se destaca que con relación al año 1993, en todos los departamentos se presentó una disminución del indicador. Aun así, de los primeros catorce departamentos que están por encima del promedio en 2012 diez son productores de recursos fósiles y algunos de ellos hacen parte del grupo de departamentos que más regalías percibieron como es el caso de La Guajira y del Cesar, lo cual resulta llamativo. Al observar los departamentos con menor índice NBI, es decir, con el porcentaje de población más bajo en condiciones de necesidades básicas insatisfechas, se encuentra departamentos tanto productores como no productores con el rasgo común de tener en su estructura productiva un mayor peso en sectores como el industrial y servicios (Antioquia, Valle del Cauca y Cundinamarca), o el sector construcción (Santander).

Otro aspecto que refleja la inequidad entre departamentos, así como la problemática social, es la comparación del Índice de Desarrollo Departamental (IDD)¹⁷⁸ con la distribución de regalías directas y el indicador social de incidencia de la pobreza. La comparación de estas variables permite contar con una buena aproximación de las dificultades de los departamentos en materia de desarrollo social. La serie histórica para el IDD se encuentra disponible para el período 2000-2012, por lo que se utiliza este horizonte temporal para contrastar este indicador con las regalías y el PIB, mientras que los datos para la incidencia de la pobreza,

¹⁷⁸ El IDD es un indicador compuesto creado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), que integra cinco componentes (eficacia, eficiencia, requisitos legales, gestión y entorno), desagregados en varias subcategorías que examinan el comportamiento departamental en temáticas como salud, educación, agua potable y saneamiento básico, el cumplimiento legal con arreglo a las leyes 715 de 2001, y 617 de 2000 referentes al cumplimiento legal en y consistencia con la ejecución de ingresos y gasto en inversión del SGP, y el cumplimiento de los límites de gasto, así como las gestión administrativa y el desempeño fiscal. Este índice se construye tanto a nivel municipal como a nivel departamental, y recoge los principales aspectos socioeconómicos relacionados con el desarrollo social y económico de las regiones (DNP, 2005).

reportados por el Departamento Nacional de Estadísticas (DANE), se encuentran disponibles para el período 2002-2012¹⁷⁹. Otro aspecto metodológico de referencia para el análisis es la utilización de valores promedio de cada indicador, de esta manera se evalúa la tendencia o comportamiento promedio en la última década de los indicadores por departamento, permitiendo analizar la dinámica regional en el período en el que justamente todas las variables asociadas a los combustibles fósiles han presentado el mayor nivel y crecimiento en la historia, como por ejemplo las regalías, la recaudación fiscal, la producción, reservas y exportaciones, las IED y el PIB minero energético, como se ha analizado a lo largo del Capítulo II.

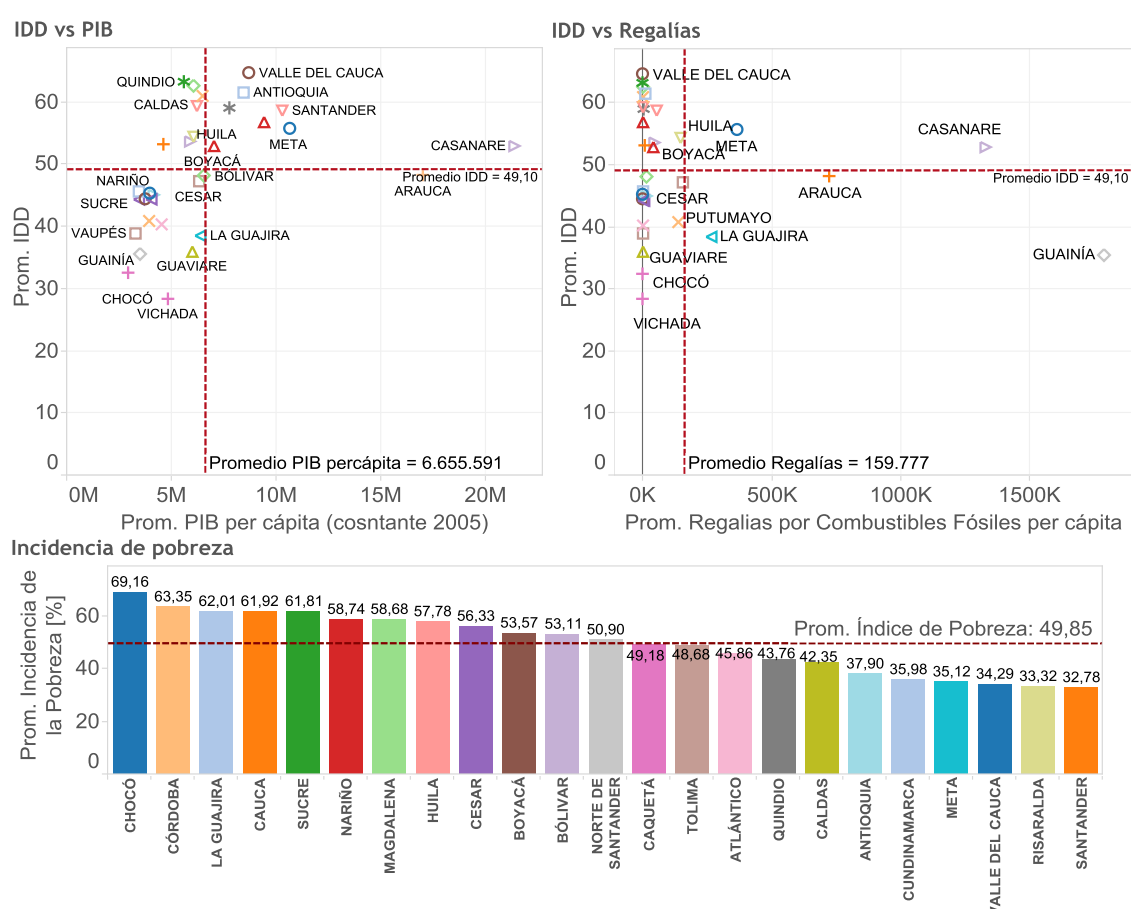


Figura 42. PIB, IDD, regalías e incidencia de la pobreza por departamento

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas de la UPME (Base de Datos: SIMEC), DNP, ANH y el DANE. Base de datos: Indicadores sociales. Versión mayo 2014. Para las dos gráficas de la parte superior también se utilizó el Índice de Desarrollo Humano (IDH del PNUD, sin embargo el comportamiento de las gráficas es similar, por lo que se decidió utilizar el IDD puesto que este índice recoge información socioeconómica más detallada de los departamentos, y por lo tanto expresa mejor el estado de desarrollo en el que se encuentran

¹⁷⁹ Exceptuando los años 2006 y 2007 puesto que en estos dos años el DANE cambio la metodología de medición (Gran Encuesta Integrada de Hogares -GEIH-), y por discrepancias metodológicas las series no se pueden empalmar para estos años. Además, sólo se reportan las estadísticas para 23 departamentos.

Con el fin de establecer la asociación entre el nivel de desarrollo (medido a través del IDD) e indicadores del nivel de ingreso tanto agregado como del sector hidrocarburos y carbonífero, se emplea un análisis de dispersión desagregado por departamentos. Para lo cual se relacionan el IDD con el PIB per cápita constante (que sirve de referencia para medir el nivel de ingreso per cápita en términos generales), y el IDD con las regalías per cápita percibidas por los departamentos (regalías directas), que sirven como proxy del nivel de las rentas por hidrocarburos y carbón percibidas por los departamentos. La figura 42 presenta estas relaciones en el panel superior (lado izquierdo y derecho); al contrastar tanto el IDD con el PIB per cápita como con las regalías per cápita se observa un comportamiento similar de los departamentos, es decir, que de media los departamentos con mayores ingresos o regalías per cápita tienen un mayor nivel de desarrollo, lo cual es de esperar *a priori*, no obstante, las dos figuras del panel superior presentan un patrón común que va en contras del comportamiento esperado: de una parte, algunos de los departamentos con el promedio de PIB per cápita más bajo (por debajo del promedio nacional), al mismo tiempo fueron en los que el PIB minero energético fue su sector más representativo (figura 37) y además, también presentaron un índice de desarrollo departamental por debajo del promedio nacional. Y de otra parte, los departamentos que de media recibieron mayores recursos de regalías, también presentan un índice de desarrollo departamental por debajo del promedio nacional.

Asimismo, al relacionar estos resultados con los presentados en la figura 40, se pone de manifiesto la ineficiencia en la gestión de las regalías en departamentos como La Guajira, Arauca, Huila y Cesar los cuales estuvieron entre los siete departamentos que concentraron más del 80% de las regalías entre los años 1994 y 2012, siendo la Guajira y Cesar los casos más agravados al ubicarse por debajo del promedio nacional tanto en el PIB per cápita como en el IDD, a pesar de que la en conjunto representa las del 90% de la producción nacional de carbón y concentran el 19% de las regalías distribuidas entre los departamentos. En cuanto a los departamentos con un buen desempeño se encuentran Meta y Casanare los cuales se encuentran por encima del promedio nacional tanto en el IDD como en el PIB y las regalías.

Finalmente, otro aspecto importante en las condiciones sociales de los entes territoriales es el nivel de pobreza existente, ya que esto refleja la capacidad de las regiones para enfrentar el desarrollo social, en este punto el indicador de incidencia de la pobreza¹⁸⁰ se puede utilizar

¹⁸⁰ La incidencia de la pobreza mide la proporción de la población que vive en situación de pobreza (DANE & DNP, 2012). Cabe mencionar que en el período analizado este índice disminuyó para todos los

como un referente para medir la eficiencia de los departamentos para promover el desarrollo social, en especial en los departamentos con una lata presencia petrolífera y carbonífera. No obstante, nuevamente la mayoría de los departamentos productores de estos recursos presentaron un mal resultado. De los veintitrés departamentos de los que se dispone información doce están por encima del promedio nacional de la incidencia de pobreza, y de estos once son productores de hidrocarburos y/o carbón, y otros dos están en el promedio, es decir que en trece de los veintiún departamentos en los que hay explotación de combustibles fósiles en promedio la proporción de personas en condición de pobreza es superior al 50%, como se puede observar en la figura 41.

2.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA RELACIÓN ENTRE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LA ECONOMÍA COLOMBIANA A PARTIR DE LA MODELACIÓN ECONOMETRICA

En los apartados 2.1 y 2.2 se detalló el comportamiento y evolución de los combustibles fósiles y se relacionaron con algunos de los agregados económico relevantes tanto a nivel nacional como sectorial (i.e. PIB, balanza comercial, IED y regalías entre otros), mostrando un comportamiento positivo en todas las variables tanto de producción como de las económicas, especialmente en las dos últimas décadas, sin embargo, en el apartado 2.3 se desagregó el análisis por regiones y en este punto el análisis no mostró resultados positivos contundentes como a nivel nacional, por el contrario se encontraron relaciones inversas revelando incluso grandes disparadas en departamentos en los que históricamente la producción de combustibles fósiles representa la principal actividad productiva y por tanto han sido tradicionalmente receptores importantes de IED y de regalías. Esta contraposición en los resultados según el nivel de desagregación no permite tener identificar claramente la relación entre los combustibles fósiles y la economía¹⁸¹, además el alcance del análisis descriptivo utilizado (medidas de tendencia central, correlaciones, análisis de dispersión), a pesar de presentar una panorámica general y describir las tendencias de las variables y dimensiones estudiadas, tiene un limitado poder para establecer relaciones significativas en términos estadísticos.

departamentos, sin embargo, la proporción de departamentos que estuvieron en por encima del promedio nacional se mantuvo en un nivel alto.

¹⁸¹ La determinación de esta relación conforma el primer eje dentro del diseño metodológico de la investigación, por lo que tanto en el primer objetivo específico, como la hipótesis de investigación 1 (y 1a, 1b), así como en la primera pregunta de investigación, descritos en las páginas 22 a 25, se enfocan en establecer dicha relación.

Si bien los análisis anteriores son válidos para evidenciar tendencias generales e identificar el comportamiento tanto nacional como departamental relacionado con los combustibles fósiles, en este apartado se utilizarán métodos más robustos para corroborar dichos análisis y responder al primer eje del marco metodológico de la investigación relacionado con la determinación de la relación entre combustibles fósiles y la economía colombiana.

En primer lugar se utilizan cuatro referentes teóricos tradicionales en el estudio de la relación entre recursos naturales y desarrollo¹⁸²: la curva ambiental de Kuznets, la relación entre energía y desarrollo, la curva de Hubbert y la hipótesis de la maldición de los recursos, con el propósito de establecer desde distintas posturas la relación entre las dos dimensiones “combustibles fósiles y desarrollo”. Para esto se utiliza la modelación econométrica y la dinámica de sistemas, permitiendo de esta manera establecer las relaciones causales y la forma funcional en que se relacionan las variables, sin embargo, aunque se siguen los referentes teóricos usualmente utilizados en la literatura, el desarrollo empírico se plantea de forma crítica respecto a los planteamientos teóricos con el fin de contrastar el efecto, las interrelaciones y los canales o mecanismos de transmisión entre los combustibles fósiles y el desarrollo del país, en lugar de pretender validar las teorías. Cabe mencionar también que por falta de información a nivel departamental para la totalidad del período de estudio así como información incompleta para algunas variables y parámetros a nivel desagregado, los análisis empíricos que se detallan a continuación se realizan con la información a nivel nacional, salvo en el apartado 2.4.4.2 en el que se incluye el análisis empírico a nivel departamental.

2.4.1. Contrastación de la relación entre desarrollo y calidad ambiental: Revisión de la curva ambiental de Kuznets desde la perspectiva de las emisiones de los combustibles fósiles

¹⁸² El enfoque seguido en la investigación no incluye el análisis del impacto de los precios de los combustibles fósiles en la economía. La razón es que este enfoque de precios (economicista) está fuera del objeto de estudio, además, de una parte, sobre este punto en concreto se dispone de una extensa bibliografía que analiza esta relación para el caso colombiano, y de otra parte, desde este enfoque los modelos o herramientas metodológicas que sustentan el análisis se soportan en referentes teóricos de corte neoliberal que centran su atención en la determinación de relaciones deterministas entre agregados económico, dejando de lado otras dimensiones que permiten una visión más integral. Para una revisión de esta literatura puede consultarse los trabajos de Llinás (2002), Rodríguez (2011) y Perilla (2010).

De acuerdo al sustento teórico de la *Curva Ambiental de Kuznets* (CAK), la relación entre la calidad ambiental (contaminación) y desarrollo económico (nivel de ingreso) supone un comportamiento de “U” invertida, postulando que conforme se avanza en la senda de desarrollo se experimentará una disminución de la contaminación ambiental, es decir, que la relación entre desarrollo y contaminación es inversa¹⁸³. Para explorar esta relación en el caso de la economía colombiana se utiliza un modelo de regresión lineal estimado a través del método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y se prueba tres especificaciones distintas con el propósito de probar la sensibilidad de los coeficientes de interés y dar mayor robustez a los resultados; como argumento Tarazona (1999) los modelos cúbicos permiten una mayor flexibilidad en el análisis a través del tiempo, puesto que pueden presentar dos puntos de quiebre (generando una relación en forma de “N” para los parámetros analizados), mientras que los modelos cuadráticos, presentan un comportamiento en forma de parábola, y por tanto, sólo admiten un punto de quiebre, lo que reduce el nivel de detalle en el análisis del comportamiento de las variables¹⁸⁴. A continuación se presentan los cuadros 21, 22 y 23 donde se describe las variables y especificaciones usualmente utilizadas en la literatura y adoptadas para la elaboración de este apartado, así como los resultados de las estimación para las tres formas funcionales de la CAK (lineal, cuadrática y cubica), con el fin seleccionar el mejor ajuste para estimar los modelos definitivos¹⁸⁵. Cabe precisar que en lugar de las emisiones totales de CO₂, se utilizan las emisiones de CO₂ totales y de consumo por combustibles fósiles para comprobar desde la perspectiva ambiental la relación entre estos recursos naturales energéticos y el desarrollo en Colombia.

¹⁸³ En este apartado se analiza la CAK desde una postura medioambiental relacionando parámetros de contaminación ambiental derivado de los combustibles fósiles. Adicionalmente el enfoque de la CAK es válido para analizar la relación en términos de metabolismo socioeconómico, por lo que se utilizará en el siguiente capítulo para analizar la relación desde la perspectiva del desacoplamiento de la economía.

¹⁸⁴ Se espera que el parámetro β_2 tenga pendiente negativa indicando el punto en el cual la contaminación cambia de pendiente y empieza a declinar conforme se avanza en la senda de desarrollo.

¹⁸⁵ El período de análisis es de 1990 a 2010.

Cuadro 21. Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en la CAK

Variable	π	δ	N
PIB Constante 2005 (Millones de pesos)	304.119.120	61.907.541,3	21
POBLACIÓN (Habitantes)	40.116.749	3.462.900,8	21
PIB per cápita (Millones de pesos/Hab)	7.580.852	0,9	21
CDM (Kt)	24.938	2.560,2	21
IDM (Kt)	78.362	23.633,9	21
EMISIONES CO2 CONSUMOS (Kt)	71.228	6.778,4	21
EMISIONES CO2 TOTALES (Kt)	352.762	115.367,3	21
CEFICIENTE GINI	57,33	2,5	18
EXPORT COMBUSTIBLES FÓSILES	53.424	21.530,5	21
DENSIDAD POBLACIONAL	35	3,0	21
EXTRACCIÓN COMBUSTIBLES FÓSILES	78.246	23.586,7	21

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del DANE, SERI - base de datos: materialflows, UPME y cálculos propios. π y δ corresponden a la media y la desviación estándar, y N indica el número de observaciones.

La variable libertades políticas se definió como una variable dicotómica (que toma valores de 0 y 1) por lo que no se presenta dentro del cuadro 18. Esta variable recoge el efecto que tiene la calidad institucional medida como la firma y ratificación de la Convención de Ginebra sobre contaminantes transfronterizos a larga distancia (se asignó el valor de cero para resaltar el cumplimiento del atributo: si firma y ratificación, y el valor de uno en el caso opuesto). Cabe mencionar que Colombia se adhirió a la convención de Ginebra en 1961 y ha renovado la firma y ratificación del Convenio en los protocolos de 1993 y 1995. Sin embargo, en el año 2005 el país firmó el tercer protocolo de la convención pero no lo ratificó.

La Tabla 21 muestra las estadísticas descriptivas (media y desviación estándar) para cada variable. Como aspecto destacado se observa que en promedio las emisiones, la extracción y la exportación de combustibles fósiles tuvieron los niveles elevados (mediadas en kilotoneladas), dando una primera aproximación al grado de presión ambiental al que ha estado expuesto el país.

Cuadro 22. Relación funcional entre crecimiento económico y contaminación ambiental

Forma funcional	Descripción
	Donde:
$E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{pc} + \varepsilon_t$ (14)	E_t representa un contaminante (emisiones) β_0 es la constante
$E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \varepsilon_t$ (15)	β_1, β_2 y β_3 son los parámetros a estimar Y_t representa el ingreso per cápita en el período t Y_t^2 representa el ingreso per cápita al cuadrado en el período t
$E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + \varepsilon_t$ (16)	Y_t^3 representa el ingreso per cápita al cubo cuadrado en el período t ε_t es el término del error

Nota. Elaborado por el Autor con base en Canas et al. (2003) y Correa et al. (2005).

La especificación corresponde a modelos de series de tiempo, aunque en la literatura consultada también se presentan modelos de corte transversal y panel de datos.

Cuadro 23. Especificación de los modelos lineal, cuadrático y cúbico

Parámetros	Modelo Lineal	Modelo Cuadrático	Modelo Cúbico
β_0	25.838,72 (7.771,27) [0,0036]	-50.232,39 (83231,89) [0,5537]	-2.250.145 (653.731,9) [0,0031]
β_1	6.040,62 (1.027,23) [0,0000]	25.655,12 (21391,21) [0,2459]	890.516,4 (256.248,5) [0,0029]
β_2	--	-1.245,97 (1357253) [0,3708]	-113.688,6 (33.259,46) [0,0033]
β_3	--	--	4.831,98 (1.428,50) [0,0035]
R ²	0,6454	0,6613	0,7975
R ² Ajustado	0,6267	0,6236	0,7618
Número de observaciones	21	21	21

Nota. Elaborado por el Autor. Variable dependiente Emisiones de CO₂ de Consumo. Variable independiente PIB per cápita (a precios constantes de 2005). Errores estándar entre paréntesis y significancia estadística entre corchetes. Puesto que las variables son series de tiempo se realizaron las pruebas Dickey-Fuller Aumentada ADF y Phillips-Perron PP para probar la estacionariedad de las variables; todas las series son I(1). Además, siguiendo la metodología econométrica se realizaron las pruebas de autocorrelación, heteroscedasticidad y normalidad en los residuos; todos los test fueron favorables.

Utilizando los datos del PIB per cápita constante y las emisiones de consumo CO₂ de los combustibles fósiles para estimar los modelos lineal, cuadrático, y cúbico, se observa en La tabla 23 revela que todos los modelos siguen el comportamiento teórico de la CAK (coeficiente β_2 negativo), sin embargo, el mejor ajuste se logra con la última especificación, es decir con el modelo cúbico: todos los coeficiente significativos a 1% y R² Ajustado más alto. Cabe precisar que estos resultados parciales requieren se contrastados con la inclusión de otros controles que permitan comprobar la sensibilidad del signo del coeficiente β_2 para obtener un mayor grado de robustez en el análisis. Por lo que para la construcción de los modelos de la CAK con las series históricas del país se utilizara el modelo cúbico y se añadirán otras variables sobre las que existe cierto consenso en la literatura como factores que también tiene inciden en el comportamiento de la CAK tales como el comercio exterior, la calidad institucional (libertades políticas), la poblacional y el nivel de desigualdad (Ravallion et al., 1997; Tarazona, 1999; Correa et al., 2005; Restrepo, 2007 y, Hervieux & Darné 2015).

Cuadro 24. Estimaciones de la Curva Ambiental de Kuznets para Colombia

Variable Dependiente	Emisiones de CO ₂ de Consumos				
Regresores / Modelos	(1)	(2) ¹	(3)	(4)	(5) ²
PIBPC2005	890.516,4* (256.248,5)	791.400,1* (-115099,9)	745.788,5* (242.382,4)	1.084.682** (449.566,8)	1.787.72,1* (363.925,5)
PIBPC2005^2	-113.688,6* (33.259,46)	-103088,5* (-14866,45)	-97.213,9* (31.176,90)	-137.812,8** (56.910,9)	-233.920* (47.208,22)
PIBPC2005^3	4.831,9* (1.428,5)	4.435,651* (-637,4184)	4.196,7* (1.331,1)	5.814.02** (2.375,1)	10.106,74* (2.019,708)
TEXP	...	0,28* (-0,03)	...	...	...
DENPOBL	...	...	1.441,1** (672,07)	...	1.578,74** (529,04)
LP1	...	...	...	-4.317,04 ^a (7.195,6)	-10.659,87** (4.016,8)
GINI	...	...	...	-309,4 ^a (490,2)	-776,38** (304,85)
C	-2.250.145* (653.731,9)	-1.952.006* (-295472)	-1.875.302* (619.091,7)	-2.741.863** (1.151.933)	-4.445.639* (913.335,8)
R2	0,798	0,915	0,843	0,779	0,930
R2 Ajustado	0,762	0,872	0,803	0,694	0,895
Ppu (\$/per cápita)	3,916	3,838	3,836	3,935	3,880
Observaciones	21	21	21	21	21

Nota: Elaborado por el Autor. * y ** representan niveles de significancia al 1, 5 y 10%, respectivamente. Errores estándar entre paréntesis. ^a indica no significancia. Las pruebas ADF y PP indican orden de integración de uno I(1). Pruebas de autocorrelación, heteroscedasticidad y normalidad en los residuos favorables.

β_1 : PIB per cápita a precios constantes de 2005 "PIBPC2005"

β_2 : PIB per cápita a precios constantes de 2005 elevado al cuadrado "PIBPC2005^2"

β_3 : PIB per cápita a precios constantes de 2005 elevado al cubo "PIBPC2005^3"

β_4 : Exportaciones totales de combustibles fósiles (Kt) "TEXP"

β_5 : Densidad poblacional (habitantes por km2) "DENPOBL"

β_6 : Variable dicotómica (Libertades Políticas) "LP1"

β_7 : Coeficiente de Gini "GINI"

¹: el modelo (2) presenta una estructura ar(1), ar(2): $e = -0,588795(u-1) - 0,758(u-2) + e$

²: para el modelo (5) β_1 , β_2 y β_3 se trabajaron con un rezago para lograr un mejor ajuste.

La Tabla 24 presenta los cinco modelos realizados que mejor ajuste presentaron. Se observa que al igual que en el cuadro 20, las variables relevantes son significativas, tiene el signo esperado además de permanecer invariable (β_1 positivo, β_2 negativo y β_3 positivo), a pesar de incluir progresivamente más variables explicativas en cada modelo, dando así mayor soporte y robustez a la comprobación empírica de la CAK para el caso colombiano. En otras palabras, a mediar de aumenta el nivel de ingreso (que refleja en estado de desarrollo), a contaminación incrementa ($\beta_1 > 0$), hasta alcanzar un nivel máximo a partir del cual empezar a disminuir ($\beta_2 <$

0), describiendo de esta forma una parábola (curva en forma de “U” invertida), son embargo como apunta Tarazona, el modelo cubico tiene la ventaja de permitir un análisis de la dinámica a largo plazo al incluir el parámetro β_3 , que al ser positivo incorpora otro punto de quiebre ascendente ($\beta_3 > 0$) por lo que el nivel de contaminación vuelve a aumentar a medida que aumenta el nivel de ingreso per cápita, es decir el nivel de desarrollo (Tarazona, 1999).

En cuanto a los Regresores adicionales incluidos presentan el signo esperado, es decir, al aumentar las exportaciones de combustibles fósiles y la densidad poblacional, las emisiones en promedio tienden a aumentar, en el primer caso porque suponen un incremento de la producción y por tanto de la quema de CO₂ en los pozos, así como en el proceso de transformación del crudo en derivados de petróleo para la exportación y en el segundo caso por la presión ambiental que supone una mayor población en cuanto al uso de recursos naturales energéticos (petróleo, gas natural y carbón). Por su parte el signo negativo de libertades políticas (calidad institucional) sugiere que a mayor calidad institucional menor contaminación, es decir, mayor eficiencia de la legislación ambiental y, finalmente sobre la variable que mide la desigualdad (coeficiente de Gini), el signo negativo indica que a medida que aumenta la desigualdad (a mayor concentración del ingreso), las emisiones de CO₂ de consumo tienden a disminuir, en correspondencia con la hipótesis de Ravallion que indica que a medida que se concentra el ingreso en las capas altas de las sociedad, estas valoran más la calidad ambiental dentro de sus preferencias de consumo, por lo que generan mayor presión sobre los actores políticos para que se ejerza un mayor control sobre la contaminación, y por tanto las emisiones tienden a disminuir (Ravallion et al., 2000).

En síntesis la evidencia apunta a que la hipótesis de la CAK se cumple parcialmente, puesto que al contemplar un modelo que permite analizar la dinámica temporal, como el modelo cúbico, a pesar que de los parámetros se corresponden con la teoría y en un primer quiebre las emisiones disminuyen cuando se avanza en la senda de desarrollo, en el largo plazo esta tendencia se revierte y la contaminación (en este caso emisiones de CO₂) vuelven a presentar una tendencia de crecimiento aparejada con el crecimiento del ingreso, es decir, a mayor desarrollo mayor contaminación (en concreto conforme a los modelos desarrollados, en promedio, a mayor nivel de ingreso per cápita mayor nivel de emisiones de CO₂ de consumo por combustibles fósiles)¹⁸⁶

¹⁸⁶ Lo anterior también es válido con las emisiones totales de CO₂ por combustibles fósiles.

2.4.2. Relación entre combustibles fósiles, energía y desarrollo

En este apartado se analiza la relación entre los combustibles fósiles y desarrollo desde la perspectiva de la energía. Este aspecto ha cobrado una relativa importancia dentro de los estudios del desarrollo; pues las economías en desarrollo y las emergentes requieren de un mayor consumo energético para replicar y equiparar los procesos industriales efectuados por las economías desarrolladas, sin embargo, los efectos negativos ambientales generados por los procesos intensivos en energías contaminantes impone una limitación ambiental al desarrollo de estos países (Altomonte, Correa, Rivas, & Stumpo, 2011). Por tanto, esta temática cobra relevancia tanto en términos de desarrollo económico (mejora de la base material de la economía) soportado por el uso de la energía, así como en términos de desarrollo sostenible, ya que en una proporción considerable la generación de energía es soportada por los combustibles fósiles. En este sentido tanto el aumento en el consumo de estos recursos, como la carga ambiental que suponen (emisiones de contaminantes) irían en contra de los principios de la sostenibilidad y por tanto del desarrollo sostenible, lo que se hace necesario un análisis de la relación entre desarrollo y energía.

Para el caso de la economía colombiana se puede observar *a priori* un comportamiento común entre desarrollo y energía, midiendo estas dos dimensiones a través del ingreso per cápita como indicador que refleja el grado de desarrollo, y la producción y consumo de energía eléctrica como medidas de la generación y uso de la energía en la economía. Transformando en índices los datos del Banco Mundial (Indicadores de Desarrollo Mundial), sobre PIB, producción y consumo de energía eléctrica, se puede observar la tendencia común de crecimiento entre las tres variables, además, se ve que la producción y consumo de energía eléctrica han crecido a un ritmo mayor al de la economía en su conjunto (figura 43), en especial desde finales de la década de los setenta hasta mediados de los noventa, coincidiendo con el período de grandes transformaciones en ocurridas en la estructura productiva, las exportaciones, el cambio de modelo económico (de proteccionismo a libre comercio) y el marco normativo e institucional entre otros, lo que permite suponer una relación directa entre energía y desarrollo. Asimismo al realizar un análisis simple de correlación, se observa una alta asociación lineal entre las variables: 0,957 entre PIB per cápita y consumo de energía eléctrica per cápita, y 0,921 entre PIB per cápita y producción de energía eléctrica per cápita. Así, tanto

el comportamiento histórico de las variables, como el aumento del ritmo de crecimiento de la producción y consumo de energía soportan, al menos a primera vista, la hipótesis de una relación causal entre energía y desarrollo.

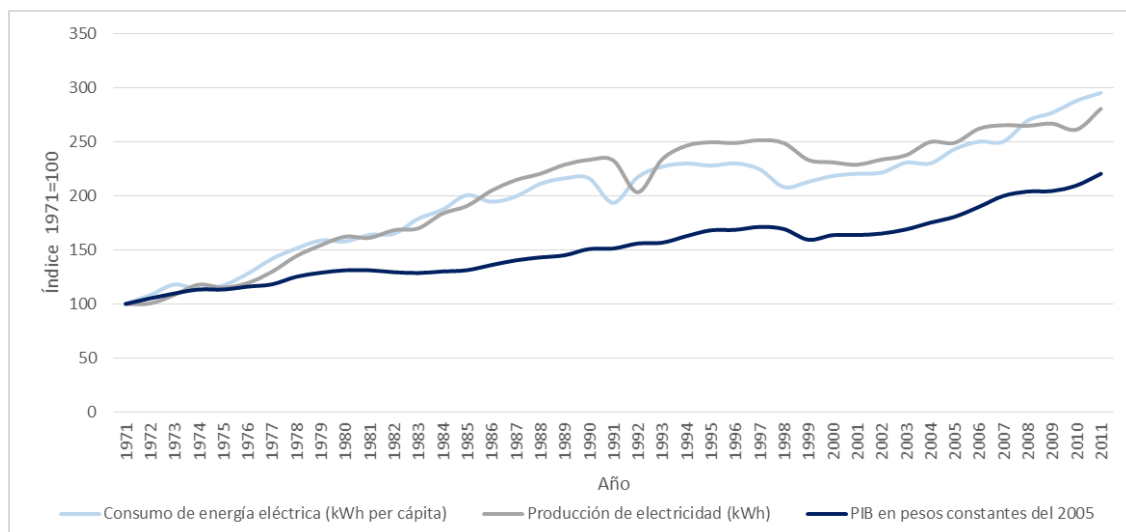


Figura 43. Índices de crecimiento del ingreso y la energía per cápita

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015. Cálculos propios.

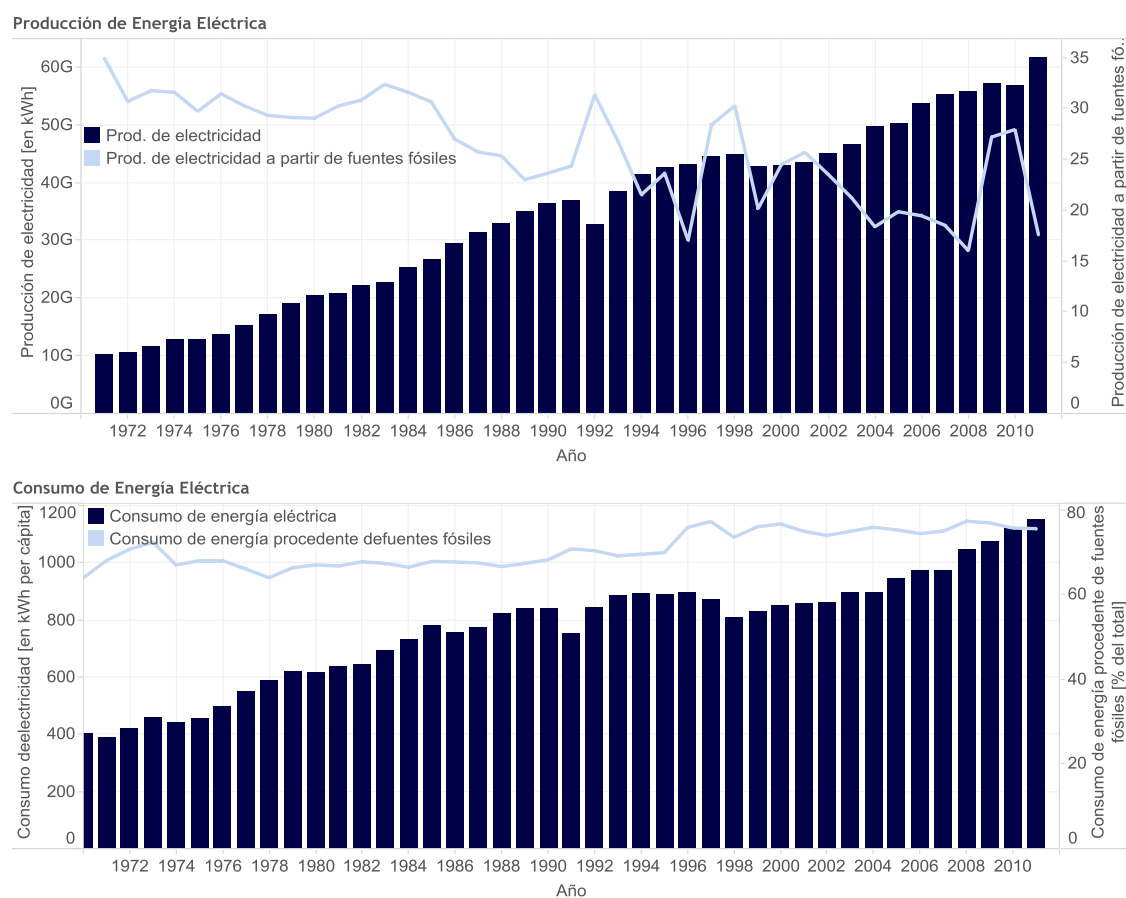


Figura 44. Producción y consumo de energía eléctrica, y participación procedente de combustibles fósiles

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015. Cálculos propios.

Por otra parte, al entrar en la composición por fuentes de energía en la producción, se observa que en promedio la producción de energía eléctrica procedente de petróleo, gas natural y carbón representó cerca del 25 % entre 1970 y 2012, presentando una disminución a lo largo del periodo, esto se debe a la creciente participación de la energía hidroeléctrica dentro de las fuentes primarias. No obstante, a pesar que la producción de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles ha sido baja, su participación en el consumo de energía eléctrica si ha sido especialmente relevante en las cuatro décadas, representando en promedio el 70,8% y presentando además, un leve aumento de esta proporción en los últimos años alcanzando una participación cercana al 77%, es decir, que de media los combustibles fósiles han representado dos terceras partes del consumo total de energía eléctrica en el país entre 1970 y 2012, llegando casi al 80%, es decir que tanto en petróleo, el gas natural, y el carbón constituyen la principal fuente en el consumo de energía eléctrica (figura 44).

Bajo este escenario para analizar la relación entre el desarrollo y la energía en Colombia se sigue la metodología normalmente utilizada para este tipo de estudios, consistente en el análisis de causalidad y cointegración en el contexto de los modelos de Vectores Auto Regresivos (VAR) y modelos de Vector de Corrección de Error (VEC) (Belloumi & Alshehry, 2015; Cotte, 2012; Lee, 2005; Lee & Chang, 2007). Las variables utilizadas para el análisis también corresponden a las utilizadas con mayor frecuencia en la literatura, y se tomaron de la base de datos “Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI)” del Banco Mundial, salvo el consumo de energía primara que es tomada del anexo estadístico “BP Statistical Review of World Energy de junio de 2015¹⁸⁷”, y se utiliza un período de tiempo de 43 años (desde 1970 a 2012); estas variables corresponden al PIB en pesos constantes de 2005, la formación bruta de capital fijo en pesos constantes de 2005, la fuerza laboral en número de personas, el consumo de energía primara en toneladas equivalentes de petróleo y emisiones de CO₂ en kilotoneladas. Al igual que en el apartado anterior se realizó varias estimaciones agregando progresivamente otros controles para comprobar la sensibilidad de los signos y dar mayor robustez al análisis, como se acostumbra en la literatura empírica. Asimismo, se construyeron los modelos siguiendo el enfoque de la función de producción estándar (Solow, 1956) incluyendo los determinantes convencionales de inversión K y trabajo L , incluyendo además una variable relacionada con la

¹⁸⁷ Disponible en <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

energía E ¹⁸⁸ (Akarca & Long, 1980; Al-Iriani, 2006; Altinay & Karagol, 2004; Asafu-Adjaye, 2000; Cotte, 2011; Ghali & El-Sakka, 2004; Ghosh et al., 2014; Glasure & Lee, 1998; Huang et al., 2008; Jin-ke et al., 2009; Lee & Chang, 2007), de esta manera se especifica formalmente el modelo de la siguiente manera:

$$Y_t = f(K_t, L_t, E_t, CO2_t) = K_t^\alpha L_t^\omega E_t^\gamma CO2_t^\theta \quad 0 < \alpha, \omega, \gamma, \theta < 1 \quad (27)$$

Donde:

Y_t : es el nivel de ingreso

K_t : es el nivel de inversión

L_t : es la fuerza laboral

E_t : es la energía

$CO2_t$: es el nivel de contaminación por emisiones de CO_2

Tomando logaritmos a ambos lados de la ecuación se tiene¹⁸⁹:

$$\ln Y_t = \alpha \ln K_t + \omega \ln L_t + \gamma \ln E_t + \theta \ln CO2_t \quad (28)$$

De esta forma se expresa el modelo en términos lineales con la ventaja añadida que los parámetros estimados representan las elasticidades¹⁹⁰. Desde este enfoque se relaciona la energía como factor explicativo y puede probarse si existe un comovimiento entre esta variable y el nivel de ingreso, por lo que a partir de la especificación (28) se aplica la metodología econométrica que consistió en una primera fase, en la determinación del orden de integración de las variables, para lo cual se realizaron las pruebas de raíz unitaria de Dickey-Fuller Aumentada (ADF) y Phillips-Perron (PP), y la prueba de estacionariedad de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), las cuales evidencian que todas las variables tienen un orden de integración uno $I(1)$, condición necesaria para poder aplicar los modelos VAR; el anexo 2 presenta el resumen de los resultados de dichas pruebas. Posteriormente se realizaron los modelos VAR y se practicaron todas las pruebas referentes a la selección del orden óptimo del rezago y las pruebas de diagnóstico sobre los residuos, el cuadro 25 presenta de forma resumida los

¹⁸⁸ También se añadió una variable de control para la contaminación (CO_2) siguiendo la literatura, la cual sirve como una forma de contraste de la curva ambiental de Kuznets, y de la relación causal entre crecimiento, energía y contaminación.

¹⁸⁹ Se omite en la representación el parámetro que representa el cambio técnico o productividad total de factores "A", aunque esta hace parte implícita del modelo.

¹⁹⁰ Para el desarrollo de los modelos se utilizaron todas las variables en logaritmo natural.

resultados de las pruebas y los anexos 3 a 6 presentan de forma detallada todos los test realizados.

Cuadro 25. Resumen de las pruebas de selección de retardos y diagnóstico del VAR

Modelo	Test de exclusión de Retardos (Test de Wald)	Test de longitud del Retardo	Autocorrelación LM (Test de Breusch-Godfrey)	Normalidad (Test de Jarque-Bera)	Heteroscedasticidad (Test de White)
Modelo 1	Tercer retardo	Longitud del retardo optimo: 1 ^a	No autocorrelación en los residuos	Normalidad en los residuos 9.9490 (0.4450) ^b	Residuos Homocedásticos 453.4298 (0.4458) ^c
Modelo 2	Primer retardo	Longitud del retardo optimo: 1 ^a	No autocorrelación en los residuos	No normalidad en los residuos 27.6050 (0.0006) ^b	Residuos Homocedásticos 218.1912 (0.8405) ^c
Modelo 3	Tercer retardo	Longitud del retardo optimo: 1 ^a	No autocorrelación en los residuos	Normalidad en los residuos 8.6703 (0.1930) ^b	Residuos Homocedásticos 101.6603 (0.6534) ^c
Modelo 4	Primer retardo	Longitud del retardo optimo: 1 ^a	No autocorrelación en los residuos	Normalidad en los residuos 5.3789 (0.2506) ^b	Residuos Homocedásticos 0.2506 (0.2506) ^c

Nota. Elaborado por el Autor. ^a La selección de la longitud del retardo óptimo se realizó con base en el criterio de información de Schwarz. ^b estadístico de Jarque-Bera, P-vale entre paréntesis. ^c Prueba de heteroscedasticidad de White sin términos cruzados, P-vale entre paréntesis. Los modelos 2 a 4 no presentan normalidad en los residuos, sin embargo, este hecho no es significativo en el contexto de los modelos VAR, son más relevantes las pruebas de autocorrelación y heteroscedasticidad, puesto que estas sí invalidan el modelo si no se supera las respectivas pruebas.

Las pruebas sobre los residuos permitieron validar los 4 modelos VAR y las pruebas de selección de rezagos avalan la utilización de un retardo para la construcción de los modelos, por lo que la siguiente fase consistió en realizar la prueba de cointegración de Johansen-Juselius. En el cuadro 26, se puede observar que tanto el estadístico de la Traza (λ_{traza}) como del Máximo Valor Propio (λ_{max}) indican un vector o relación de cointegración en los modelos 2 a 4, por lo que se puede esperar una única relación de cointegración. El modelo 1 presenta dos vectores de cointegración por lo que no es posible establecer una única relación de cointegración.

Cuadro 26. Prueba de cointegración de Johansen- Juselius

	Modelo 1			Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
Hipótesis	$r=0$	$r \leq 1$	$r \leq 2$	$r=0$	$r \leq 1$	$r=0$	$r \leq 1$	$r=0$	$r \leq 1$
Traza (λ_{traza})	102.514* (69.818) [0.0000]	49.697* (47.856) [0.0332]	19.523 (29.797) [0.4558]	53.875* (47.856) [0.0122]	18.848 (29.797) [0.5038]	47.709* (42.915) [0.0154]	20.577 (25.872) [0.1981]	20.884* (20.261) [0.0410]	4.087 (9.1645) [0.3993]
Hipótesis	$r=0$	$r \leq 1$	$r \leq 1$	$r=0$	$r \leq 1$	$r=0$	$r \leq 1$		
Max. valor propio (λ_{max})	52.817* (33.876) [0.0001]	30.174* (27.584) [0.0227]	14.084 (21.131) [0.3581]	35.026* (27.584) [0.0046]	13.716 (21.131) [0.3888]	27.132 * (25.823) [0.0334]	13.040 (19.387) [0.3248]	16.797* (15.892) [0.0360]	4.087 (9.164) [0.3993]

Nota. Elaborado por el Autor. Valores críticos en paréntesis y p-valor al 5% en corchetes. Hipótesis nula: no existe vector de cointegración; hipótesis alterna: existe un vector de cointegración. * denota rechazo de la hipótesis nula al 5%.

Puesto que las pruebas de cointegración Johansen-Juselius realizadas a cada modelo indican que las variables integran, se obtienen las ecuaciones de cointegración que evidencian la relación de equilibrio de largo plazo entre las variables y por tanto reflejan la relación de causalidad de largo plazo, sin embargo, su principal debilidad es que no permiten identificar la dirección de la causalidad ni tampoco permiten establece la causalidad de corto plazo, por lo que se hace necesario realizar el modelo de corrección del error VEC. En esto consistió la última fase de la metodología; una vez realizado este procedimiento se determinaron las relaciones de causalidad en el sentido de Granger. El cuadro 27 resume la causalidad de corto y largo plazo, así como la dirección de la causalidad entre energía y desarrollo.

Cuadro 27. Resultados test de causalidad de Granger

Causalidad de corto plazo						Causalidad de largo plazo	Dirección de la Causalidad
	ΔY	ΔK	ΔL	ΔE_t	$\Delta CO2_t$	α_{11}	
Ec. 1							
ΔY	—	0.076 (0.781)	0.797 (0.371)	0.249 (0.617)	0.226 (0.634)	-0.023 [-0.168]	$Y \nleftrightarrow E$
ΔK	0.044 (0.832)	—	0.259 (0.610)	2.549 (0.110)	0.737 (0.390)	0.913 [1.168]	
ΔL	0.410 (0.521)	1.841 (0.174)	—	0.1493 (0.699)	0.3812 (0.536)	0.053 [0.581]	
ΔE_t	1.035 (0.308)	0.625 (0.428)	1.1281 (0.288)	—	0.234 (0.628)	-0.127 [-0.620]	
$\Delta CO2_t$	2.926 (0.087)*	0.583 (0.445)	0.126 (0.721)	2.496 (0.114)	—	1.047 [4.440932]	
Ec. 2							
ΔY	—	0.125 (0.722)	0.816 (0.366)	0.114 (0.735)		-0.001 [-0.052]	$Y \nleftrightarrow E$
ΔK	0.050 (0.821)	—	0.422 (0.515)	1.388 (0.238)		0.516 [2.866]***	
ΔL	0.323 (0.569)	0.913 (0.339)	—	0.775 (0.378)		-0.008 [-0.387]	
ΔE_t	1.249 (0.263)	0.529 (.466)	1.341 (0.246)	—		-0.081 [-1.778]*	
Ec. 3							
ΔY	—			0.557 (0.455)	1.927 (0.165)	-0.238 [-1.768]*	$Y \leftarrow E$
ΔE_t	4.924 (0.026)			—	0.001 (0.967)	-0.192 [-0.901]	
$\Delta CO2_t$	0.449 (0.502)			0.378 (0.538)	—	0.790 [0.015]**	

Nota. Elaborado por el Autor. H_0 : no existe relación causal entre las variables; H_1 : existe relación causal entre las variables. Los valores entre paréntesis corresponden a los P-value de la prueba de Wald con una distribución χ^2 . Δ

es el operador de primera diferencia. *, ** y *** son los niveles de significación al 10, 5 y 1%, respectivamente. Los valores entre corchetes corresponden al t-estadístico.

↔ No causalidad bidireccional.

← Causalidad unidireccional desde consumo de energía hacia PIB.

El modelo 1 incluye todos los regresores mientras que los modelos 2 y 3 van disminuyendo la cantidad de regresores incluidos. En los modelos 1 y 2 no se aprecia causalidad ni de corto ni de largo plazo, y sólo el modelo 3 presenta evidencia a favor de una relación de causalidad entre ingreso y energía en el corto y largo plazo, siendo el sentido de la causalidad desde la última a la primera, en los dos primeros casos se sugiere el cumplimiento de la hipótesis de neutralidad, mientras que el tercero sugiere el cumplimiento de la hipótesis del crecimiento (la causalidad es unidireccional y va de la energía al crecimiento económico), siguiendo los planteamientos de Kraft & Kraft (1978). Sin embargo, en el modelo 4 [$Y_t = f(E_t)$], si se encontró evidencia a favor de una relación de causal entre las dos variables, por lo que se optó por utilizar cuatro medidas de energía para profundizar en el análisis entre desarrollo y energía. Se aplicó nuevamente la metodología descrita en los párrafos anteriores relacionando el nivel de ingreso (PIB per capital en pesos constantes de 2005) con la producción y consumo de energía primaria, y la producción y consumo de energía primaria procedente de combustibles fósiles, todas en toneladas equivalentes de petróleo (tep). En todos los casos se presentó una relación de cointegración en el test de Johansen-Juselius y se estimaron los modelos VEC para establecer las relaciones de causalidad. Los resultados los resultados de la causalidad se presentan en el cuadro 28.

Cuadro 28. Resultados test de causalidad de Granger para ingreso y energía del modelo 4

Variables	Causalidad de corto plazo		Causalidad de largo plazo	Dirección de la causalidad
	ΔY	ΔE_{cf}	α_{11}	
Modelo 4a				
ΔY	—	2.0643 (0.1508)	-0.0250 [-0.8848]	$Y \leftrightarrow E$
ΔE_{cft}	1.1728 (0.2788)	—	-0.1029 [-3.8196]***	$Y \rightarrow E$
Modelo 4b				
ΔY	—	7.1266 (0.0076)***	-0.0276 [-1.1484]	$Y \leftrightarrow E$
ΔE_{cf}	2.2376 (0.1347)	—	-0.1647 [-6.3007]***	$Y \rightarrow E$
Modelo 4c				
ΔY	—	2.8378 (0.0921)*	-0.0524 [-1.0656]	$Y \leftrightarrow E$
ΔE_{cf}	0.5118 (0.4743)	—	-0.1932 [-4.0328]***	$Y \rightarrow E$
Modelo 4d				
ΔY	—	10.007 (0.0067)***	-0.1130 [-1.5227]	$Y \leftrightarrow E$
ΔE_{rf}	2.0953 (0.3508)	—	-0.4069 [-4.7627]***	$Y \rightarrow E$

Nota. Elaborado por el Autor. H_0 : no existe relación causal entre las variables; H_1 : existe relación causal entre las variables. Los valores entre paréntesis corresponden a los P-value de la prueba de Wald con una distribución χ^2 . Δ es el operador de primera diferencia. *, ** y *** son los niveles de significación al 10, 5 y 1%, respectivamente. Los valores entre corchetes corresponden al t-estadístico.

↔: No causalidad de E hacia Y

→: Causalidad unidireccional de Y hacia E.

Los dos primeros modelos (4a y 4b) relacionan el ingreso con el consumo de energía primaria y el consumo de energía procedente de combustibles fósiles, y los dos siguientes (4c y 4d) siguen el mismo orden pero relacionando la producción de energía. En todos los casos se presenta evidencia estadísticamente significativa a favor de una relación causal de largo plazo que va del ingreso (PIB per cápita) a la energía (producción y consumo), sugiriendo conforme a los referentes teóricos el cumplimiento de la hipótesis de la conservación, es decir, que la dinámica de crecimiento de la economía en las cuatro décadas analizadas explican la evolución del consumo de energía, siendo este resultado más consistente con el comportamiento de la economía, ya que las transformaciones productivas orientadas a un modelo de apertura económica requirieron un uso más intensivo de recursos (incluyendo la energía), sin embargo, estos resultados deben tomarse con precaución puesto que las especificaciones que incluyeron más variables explicativas no permiten realizar conclusiones definitivas.

2.4.3. Estimación de la tendencia futura de los combustibles fósiles. Comprobación de la curva de Hubbert

Otro aspecto de suma importancia en economías altamente dependientes de recursos no renovables es el relacionado con el agotamiento de los recursos. En este punto las implicaciones para el país por una disminución o agotamiento de los combustibles fósiles (en especial del petróleo), tendría consecuencias negativas que se reflejarían tanto en los agregados económicos como en los aspectos socioeconómicos; como se argumentó en apartados anteriores, el superávit de la balanza comercial se sostiene gracias al superávit en la balanza de los combustibles fósiles, de igual forma la mayor concentración de IED se encuentra en hidrocarburos y Carbón, las regalías e impuestos de este sector computan en promedio más del 20% de los ingresos corrientes del país, y a nivel regional este sector es la principal actividad económica en varios departamentos, así como en gran medida el desarrollo regional se financia con las regalías y las transferencias, de modo que una contracción de la producción, las reservas o las exportaciones afectaría económica y socialmente la economía colombiana.

En este apartado se hace una revisión de la tendencia futura en el comportamiento de la producción y las regalías per cápita utilizando como soporte teórico la Curva de Hubbert y

como herramienta metodológica la dinámica de sistemas¹⁹¹. Se utiliza la información de producción de petróleo en Millones de barriles y de carbón en millones de toneladas¹⁹² tomadas del sistema de información SIMEC de la Unidad de Planeación Minero Energética, también se toma información sobre regalías (fuente: UPME, ANH) y población (fuente DANE) y se utiliza como soporte teórico el planteamiento de M. K. Hubbert, el cual indica que la producción de recursos naturales no renovables como el petróleo comporta un ciclo que sigue la forma de una función logística, presentando durante un período un comportamiento ascendente hasta alcanzar un “Pico”, para posteriormente declinar progresivamente (Hubbert, 1956), de aquí que se conozca como la teoría del *Pico de Petróleo*. Además el horizonte temporal utilizado para la simulación es de 50 años.

Para el cálculo de los parámetros iniciales se tomó la información de producción, población y regalías del año 2000, y se realizó el cálculo inicial de la cantidad explotada (P), el límite último de recursos (L), la tasa de explotación ($\frac{dp}{dt}$), y la constante de proporcionalidad (κ). A continuación se presentan en el cuadro 29, el resumen de la información utilizada para la simulación.

Cuadro 29. Resumen de variables para la simulación.

Parámetros para la Población en el año 2000		personas y porcentajes	
Nacimientos		654.627	
Población		45.509.584	
Muertes fetales		33.388	
Muertes < 1 año		8.355	
Muertes no fetales		200.524	
Índice de mortalidad		0,0053	
Efecto hacinamiento sobre la tasa de mortalidad			
Tasa de muerte normal			
Población normal		70.350.876	
Parámetros para Petróleo y Carbón en el año 2000		Petróleo Mbbl	Carbón M ton
tasa de producción		250,8	38,2
Cantidad explotada hasta el año 2000 (P)		5.317,2	486,1
Límite de reservas (L)		10.860,0	16.436,0
k		8,50977E-06	4,93205E-06

¹⁹¹ Esta metodología fue utilizada en el Informe “Los Límites de Crecimiento” del Club de Roma (Meadows et al., 1972; Meadows et al., 2006), y permite modelar o simular el comportamiento de una variable en el largo plazo para analizar tendencias futuras, con un buen grado de confiabilidad.

¹⁹² El análisis no se realiza para el gas natural por no contar con la totalidad de la información necesaria para realizar la simulación, aunque por la propia naturaleza de este recurso es claro que sigue una trayectoria similar a la del petróleo y el carbón.

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas de la UPME, la ANH, el DANE y la CEPAL

En cuanto a la especificación de la forma funcional se sigue el planteamiento de Hubbert utilizando una función logística y su derivada, que representan la curva de producción acumulada y la curva de producción. La expresión forma es la siguiente:

$$Q_{(t)} = \frac{Q_{\infty}}{[1+e^{-a(t-t_{max})}]} \quad (29)$$

$$Q'_{(t)} = \frac{dQ_{(t)}}{dt} = \frac{aQ_{\infty}e^{-a(t-t_{max})}}{[1+e^{-a(t-t_{max})}]^2} \quad (30)$$

Donde $Q_{(t)}$ es la curva de producción acumulada y $Q'_{(t)}$ es curva de producción. Tomando como referencia estas ecuaciones se procedió a modelarlas con la metodología de dinámica de sistemas, para lo cual se utilizó el software iThink versión 10.1.2, además se especificó un modelo demográfico estándar utilizando como soporte tanto la metodología como los datos demográficos del año 2000 del DANE y la CEPAL. Por último, con base en las entradas y relaciones de producción y población se introdujo una interacción entre flujos y stocks se modelar las regalías per cápita, partiendo del valor inicial de las regalías en el año 2000. El diagrama de interacciones del modelo se puede observar en la figura 45.

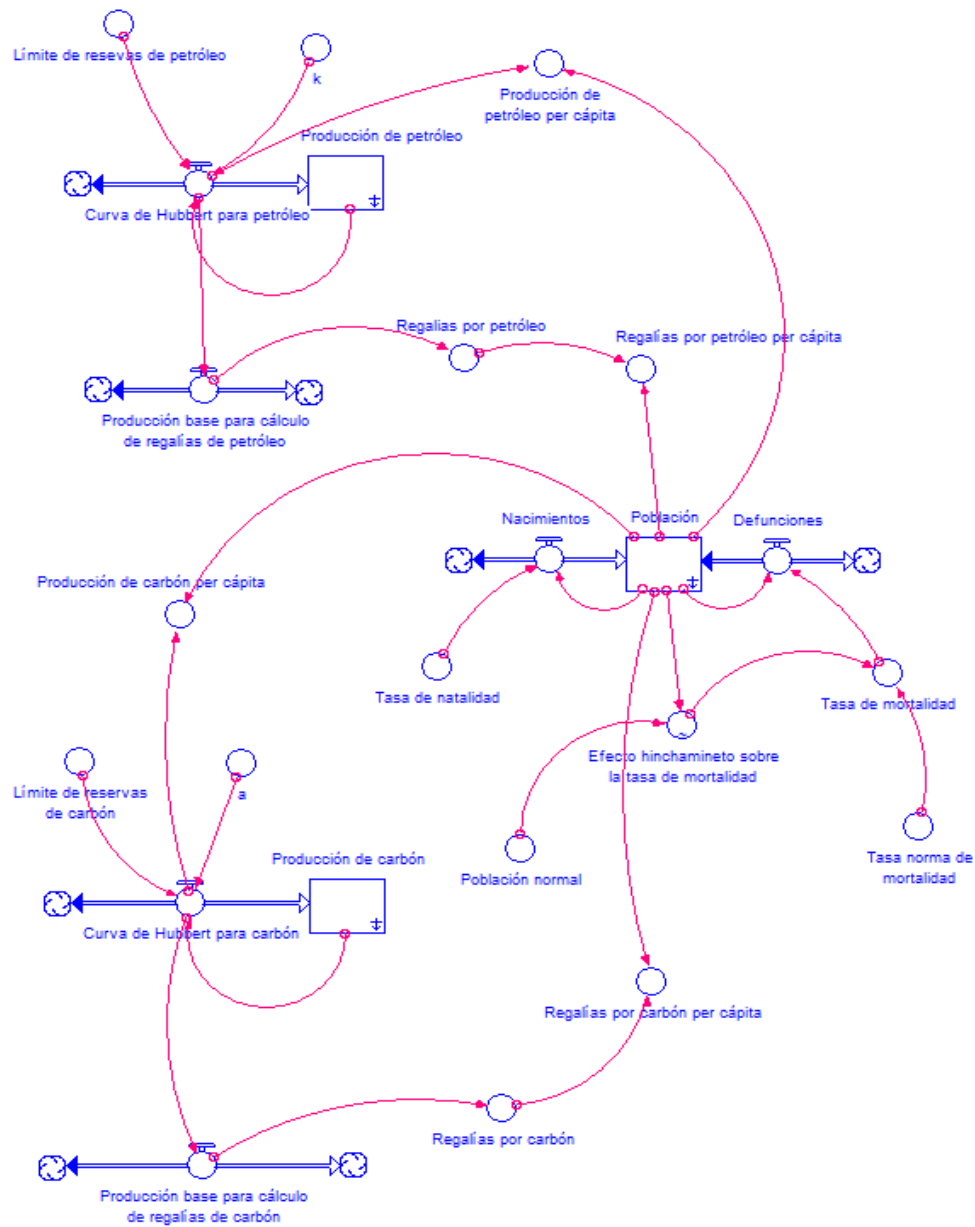


Figura 45. Especificación del modelo de la curva de Hubbert en dinámica de sistemas
 Nota. Elaborado por el Autor. Los aspectos técnicos del modelo se encuentran en el anexo 7.

Los resultados de la simulación son los siguientes:

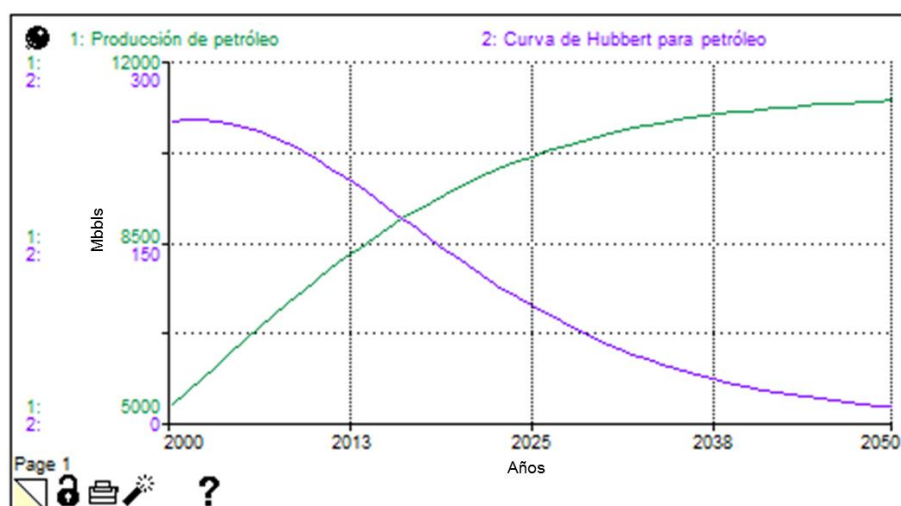


Figura 46. Curva de Hubbert para petróleo

Nota. Elaborado por el Autor.

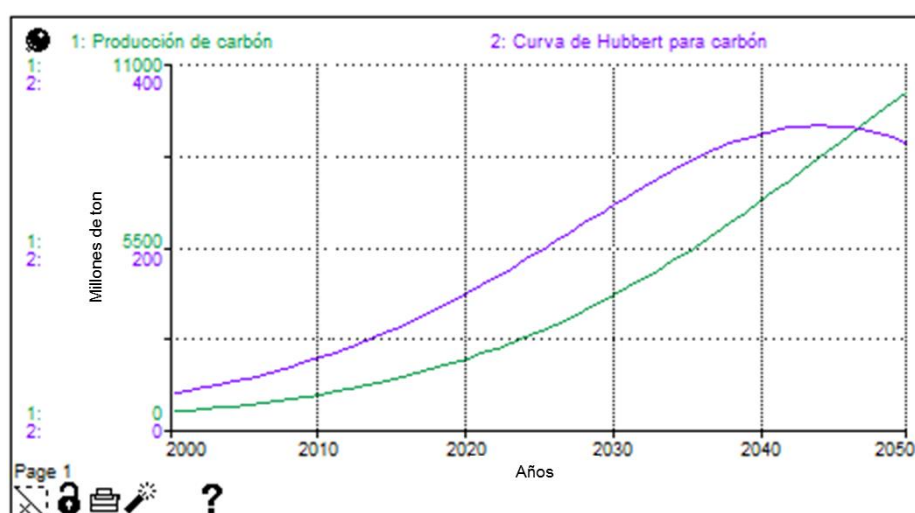


Figura 47. Curva de Hubbert para carbón

Nota. Elaborado por el Autor.

Las salidas de la simulación se pueden observar en las figuras 46 y 47, la primera muestra la tendencia de la curva de Hubbert (línea morada); se aprecia que el pico del petróleo ya se alcanzó, resultado consistente con otros trabajos como los de la UPME (2012b), UPME (2013) y Leyva et al. (2014) que ubican en pico del petróleo para Colombia entre los años 1999 y 2000. Con relación al carbón, el pico se ubica alrededor de 2045, resultado que también es coherente con otros trabajos como el realizado por la UPME & UNAL (2014). Más allá de los valores concretos de la producción de petróleo y carbón que estima la simulación, el punto relevante es la tendencia que describen los datos, si bien los resultados pueden variar de acuerdo al año base en el que se calibren los parámetros del modelo, o que se modifique un determinado parámetro por un cambio en la tecnología, en las condiciones del mercado en el volumen de reservas totales, la tendencia a largo plazo no se modifica, es decir, que el cambio

de pendiente se presenta en algún momento del tiempo por lo que el “pico” del recurso energético se presentará en algún año. Esto resulta significativo puesto que, como ya se advirtió el país es dependiente de las exportaciones de carbón y petróleo, y para varios de sus departamento las regalías por la explotación de estos recursos son de sus principales fuentes de ingreso. Asimismo, como se analizó en el apartado anterior varios de los departamentos a pesar de ser los principales receptores de regalías presentan resultados débiles en términos de desarrollo local, hecho que previsiblemente se agudizaría en un contexto de pérdida de rentas por disminuciones en los volúmenes de producción.

En este sentido, relacionado la curva de Hubbert de petróleo y carbón con las regalías per cápita percibidas por estos recursos (figura 48), claramente se observa un comportamiento aparejado. El nivel más alto de regalías per cápita se ubicaría en el comienzo del horizonte temporal (año 2000), y presentaría una fuerte reducción a mediados del periodo. Este comportamiento se explica debido a que el marco legislativo contempla la reducción gradual del porcentaje a descontar en el cálculo del monto de las regalías según vaya reduciendo en volumen de producción (Ley 756 de 2002), por ejemplo para una producción diaria promedio mensual igual o menor a 5 KBPD el porcentaje aplicado para el cálculo de las regalías es 8%, si esa producción es mayor a 5 KBPD e inferior o igual a 125 KBPD, se aplica una fórmula para calcular el porcentaje, teniendo como resultado un porcentaje más alto entre mayor sea la producción diaria promedio mensual, y si la producción es mayor a 125 KBPD e inferior o igual a 400 KBPD el porcentaje aplicado para el cálculo de las regalías es 20%; el cálculo del porcentaje continúa hasta llegar a un máximo de 25% que se aplica a niveles de producción mayores a 600 KBPD. Este aspecto se tuvo en cuenta en el modelo de dinámica de sistemas, por lo que, al disminuir la producción (Curva de Hubbert) en determinados tramos el software recalcula las regalías descontando el porcentaje determinado en la legislación hasta un nivel igual o inferior a 125 KBPD donde se aplica el porcentaje más bajo 8%. Lo mismo ocurre con las regalías por carbón, ya que la Ley 756 de 2002 también establece un porcentaje para el cálculo de las regalías según el volumen de producción de una mina (10% para explotaciones mayores a 3 millones de toneladas anuales, y 5% para explotaciones menores a 3 millones de toneladas anuales).

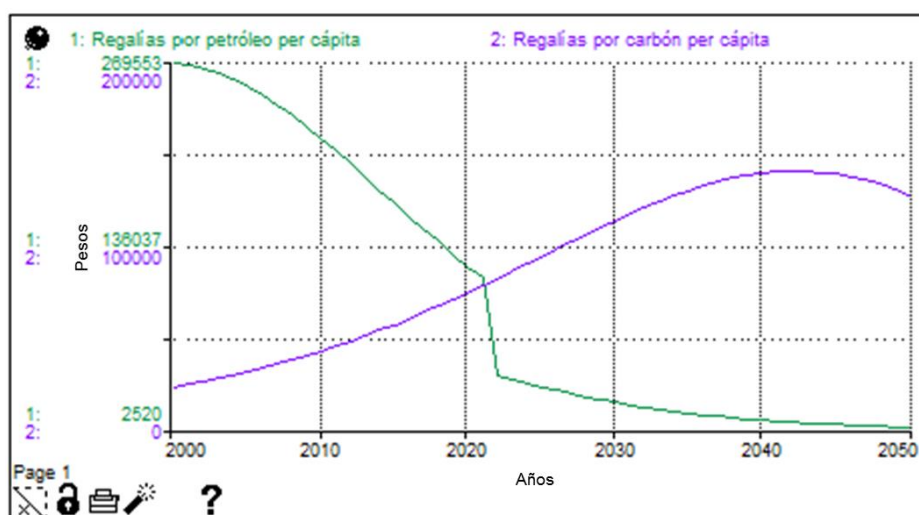


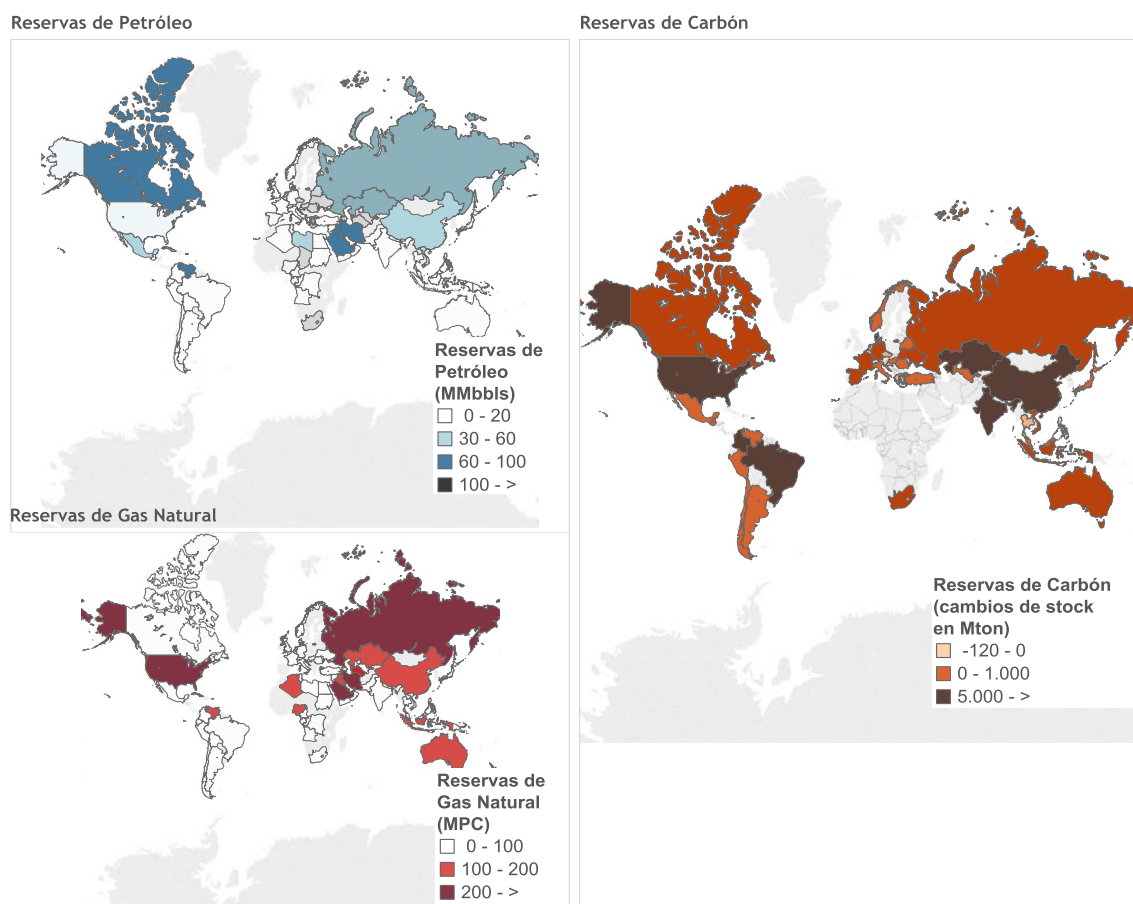
Figura 48. Tendencia de las regalías modeladas en dinámica de sistemas
Nota. Elaborado por el Autor.

En síntesis la tendencia en el tiempo, con independencia de cambios en el marco legal que se puedan presentar referentes al cálculo de las regalías o la dinámica de los precios internacionales (que hacen parte de los cálculos), el comportamiento de las regalías sigue un patrón de declive conforme se agotan los combustibles fósiles, y esta tendencia se agrava conforme los volúmenes de producción alcanzan el umbral mínimo en el que el porcentaje descontado para el cálculo de las regalías es el menor.

2.4.4. Crecimiento económico y combustibles fósiles en Colombia. Revisión de la hipótesis de la maldición de los recursos desde una perspectiva global.

En este apartado se profundiza en la relación de los combustibles fósiles con la economía desde la postura de la paradoja de la abundancia, que es uno de los principales referentes teórico y empírico más relevantes tanto en el plano académico como político. Puesto que como ya se ha visto en las secciones anteriores el petróleo, el gas natural y el carbón tienen un peso significativo en las exportaciones del país y en la estructura productiva de varios de sus departamentos, el estudio sobre el impacto de las exportaciones de estos recursos en la economía cubra una especial relevancia. El análisis se divide en tres niveles: mundial, nacional y regional. El primer nivel se sustenta en la relevancia que tiene el país en el contexto internacional puesto que históricamente sido el décimo país productor de carbón y quinto en exportaciones de este mineral, en cuanto al petróleo ha estado entre los primeros 25 países tanto como productor como exportador y frente al gas natural en los últimos años ha estado entre los 35 primeros países productores y exportadores (IEA, 2001, 2002a, 2002b, 2012a,

2012b, 2012c, 2015a, 2015b), lo que refleja su importancia en el contexto internacional, además, en cuanto las reservas su participación en hidrocarburos no es representativa, pero si lo es en carbón ocupando el primer puesto en Latinoamérica y el décimo a nivel mundo en volumen de reservas de carbón, el mapa 3 muestra la panorámica mundial de reservas a nivel mundial.



Mapa 3. Reservas mundiales de Combustibles fósiles

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015. Datos en promedio para el período 1970-2012

MMbbls: miles de millones de barriles

MPC: millones de pies cúbicos

Mton: millones de toneladas

Metodológicamente el análisis se realizó utilizando una muestra de 68 países¹⁹³ considerados ricos en combustibles fósiles para el período 2000-2010¹⁹⁴ y se utilizó como criterio de selección el cumplimiento uno de los parámetros del FMI¹⁹⁵ para establecer si un país es rico o

¹⁹³ La lista de países utilizados en la muestra se encuentra en el anexo 8.

¹⁹⁴ Se utiliza este horizonte témpora por la restricción de la metodología econométrica utilizada (Método Generalizado de Momentos en datos de panel), la cual impone una restricción en la extensión de las series para no incurrir en sesgos de sobre identificación de instrumentos (Morales-Torrado, 2011).

¹⁹⁵ El FMI en su documento Guide on Resource Revenue Transparency, estable como criterios para definir un país como rico en recursos naturales los siguientes: i) presentar mínimo un promedio 25% de

no en recursos naturales, a saber: presentar mínimo un promedio 25% de participación de los ingresos por exportaciones de hidrocarburos y/o recursos minerales en las exportaciones totales (FMI, 2008; Ossowski, Villafuerte, Medas, & Thomas, 2008; Perry et al., 2012; Villafuerte & Lopez-Murphy, 2010).

Las variables utilizadas se tomaron la base de datos “Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI)” del Banco mundial y del Worldwide Governance Indicators¹⁹⁶, y para su selección se utilizó como criterio las referenciadas en la teoría de la maldición de los recursos y las que mayor frecuencia presentaron en la literatura empírica, además, se partió de la especificación de un modelo estándar de crecimiento similar al utilizado en la ecuación (27) en el que se fueron agregando progresivamente variables explicativas, como es lo usual en la literatura científica, con el propósito de comprobar la sensibilidad (signo) del parámetro de interés en este caso, el asociado a la dependencia de recursos naturales, así como presentar mayor robustez en los resultados. Las variables utilizadas fueron: tasa de crecimiento de PIB constante en dólares de 2005 (PPA) y su primer retardo, exportaciones de combustibles fósiles como porcentaje de PIB constante de 1990 por trabajador como variable que expresa la dependencia de recursos, inflación, inversión, población, apertura económica, términos de intercambio, apertura financiera, profundización financiera, consumo del gobierno, calidad institucional, estabilidad política y ausencia de violencia/terrorismo, efectividad gubernamental, calidad regulatoria.

La variable bajo objeto de estudio son las exportaciones de combustibles fósiles como porcentaje de PIB constante de 1990 por trabajador, esta variable captura el efecto de la dependencia de recursos sobre el nivel de ingreso. Se utiliza este indicador siguiente la propuesta de Morales-Torrado (2011) el cual expone que “Esta variable captura la intensidad de las exportaciones de recursos naturales, teniendo en cuenta la capacidad productiva de cada economía” (p. 18). Las siguientes diez variables representan controles típicos en la teoría del crecimiento en especial la inflación, la inversión y la población. La apertura económica y los términos de intercambio recogen el efecto del comercio internacional sobre el crecimiento; la apertura y profundización financiera, y el consumo del gobierno, capturan el efecto de las finanzas (sistema financiero) y el gasto público, y su importancia radica en que funcionan como

participación de los ingresos fiscales por hidrocarburos y/o recursos minerales en los ingresos fiscales totales, y ii) presentar mínimo un promedio 25% de participación de los ingresos por exportaciones de hidrocarburos y/o recursos minerales en las exportaciones totales (FMI, 2008, p. 2).

¹⁹⁶ Esta base de datos es producida por Daniel Kaufmann del Natural Resource Governance Institute (NRGI) y Aart Kraay del World Bank Development Research Group. La base de datos se encuentra disponible en <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>.

canales de transmisión desde el *efecto desplazamiento*. Por su parte, las últimas cinco variables (calidad institucional, estabilidad política y ausencia de violencia/terrorismo, efectividad gubernamental, calidad regulatoria), recogen el efecto institucional sobre el que se canaliza el impacto de los combustibles fósiles sobre el ingreso, es decir que representan los canales de transmisión desde el *efecto institucional*.

Como una primera aproximación se relacionó la tasa de crecimiento promedio del PIB per cápita real en paridad del poder adquisitivo (PPA) y la participación promedio de combustibles fósiles dentro de las exportaciones totales. Como se puede observar en la figura 49, *a priori* parece existir una correlación inversa entre crecimiento económico y exportaciones de combustibles fósiles.

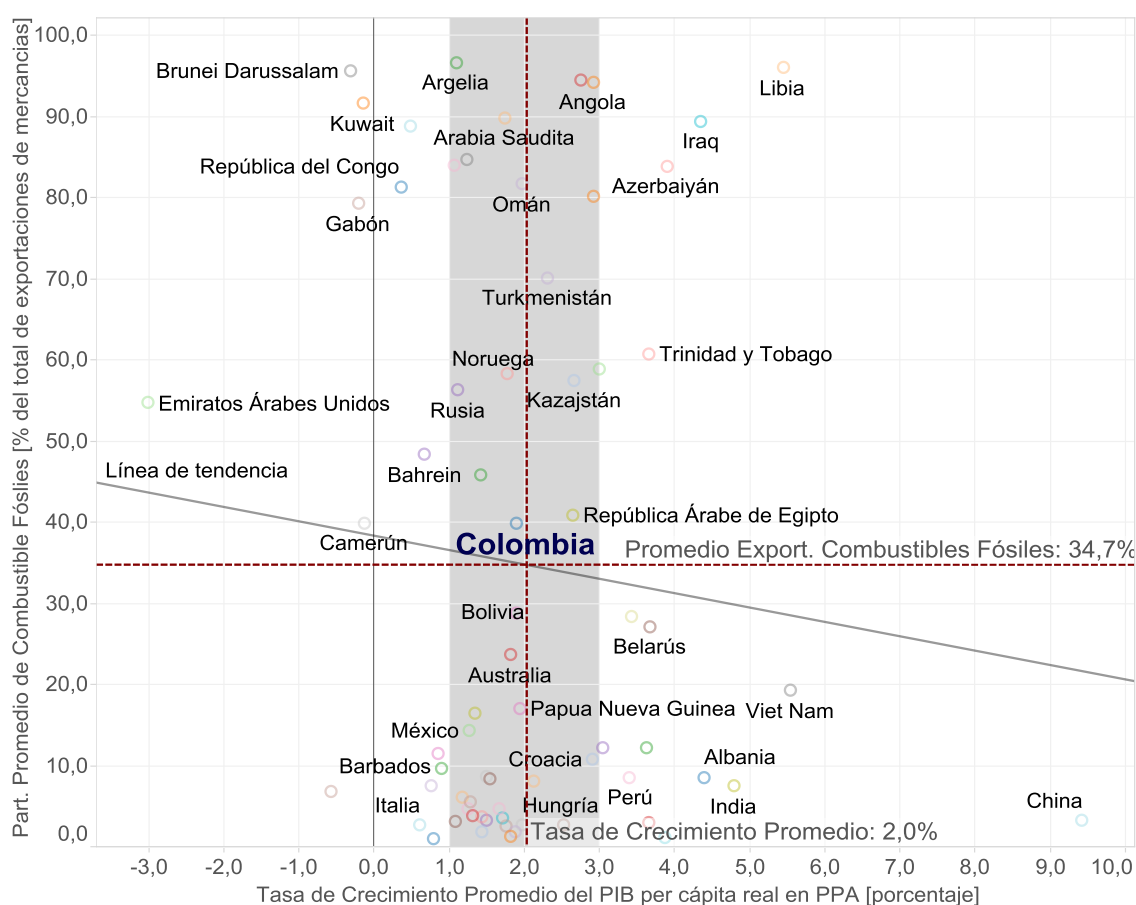


Figura 49. Exportaciones de Combustibles fósiles y crecimiento económico

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015.

Se observa además que Colombia se encuentra en el promedio mundial de la tasa de crecimiento per cápita y levemente por encima del promedio mundial de la participación de los combustibles fósiles dentro de las exportaciones totales.

Por otra parte, como hecho a destacar se presenta en la figura 50, los indicadores del Worldwide Governance Indicators referentes a la calidad institucional representados en los indicadores de voz y rendición de cuentas, estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo, efectividad gubernamental, calidad de la regulación, estado de derecho y control de la corrupción; para esta figura se utilizó la base de datos completa compuesta por 215 países, para los años 1996-2014. Llama la atención que todos los indicadores se sitúan cerca al promedio mundial o incluso por debajo, como el caso del indicador estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo, debido a las condiciones particulares del país en materia del conflicto armado.

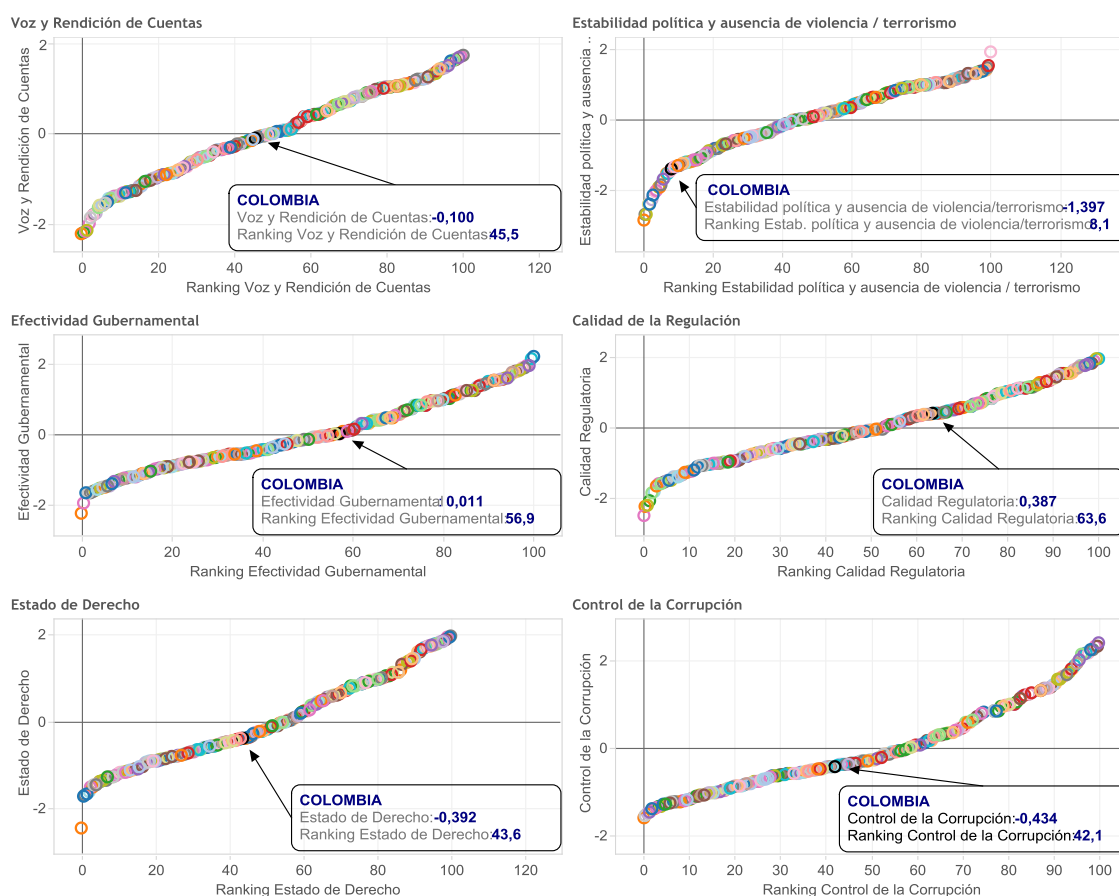


Figura 50. Indicadores

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Worldwide Governance Indicators (WGI). Versión: febrero de 2015.

En cuanto a la metodología utilizada en los modelos realizados se siguió el estimador de Blundell, y Bond (1998) en el contexto de los datos de panel dinámicos, utilizando el Método

Generalizado de Momentos en Diferencias (Sistémicos)¹⁹⁷ el cual es eficiente ante problemas de endogeneidad de las variables independientes que por construcción hagan parte del modelo, como es el caso de los modelos de crecimiento económico (Morales-Torrado, 2011, p. 19). El soporte teórico de esta metodología se explicó en el apartado 1.4.3. A continuación se presentan los resultados de los modelos.

¹⁹⁷ Se realizaron 11 estimaciones y se aplicaron los Test de Arellano-Bond sobre autocorrelación de segundo orden y de Sarga de sobreidentificación de instrumentos. Todos los modelos pasaron las pruebas.

Cuadro 30. Resultados de las regresiones por System GMM en Diferencias para el panel internacional

Variable dependiente: Tasa de crecimiento PIB constante us\$2005

System GMM en Diferencias

Regresores / modelos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Retardo de la tasa de crecimiento del PIB constante us\$2005	0.9164936*** (0.0029475)	0.9130552*** (0.003993)	0.9043673*** (0.0022013)	0.8980843*** (0.0037553)	0.8995884*** (0.0050897)	0.8747059*** (0.0053428)	0.878039*** (0.0066538)	0.8161783*** (0.0087258)	0.7596607*** (0.008167)	0.7531723*** (0.0099326)	0.8470691*** (0.0081447)
Dependencia de recursos [Export. Comb. fósiles / PIBtrab90]	1.10e-08*** (5.61e-10)	1.20e-08*** (5.44e-10)	7.89e-09*** (6.36e-10)	-7.73e-09*** (8.61e-10)	-9.77e-09*** (1.17e-09)	-8.13e-09*** (1.40e-09)	-7.95e-09*** (1.53e-09)	-3.95e-09*** (1.52e-09)	-1.47e-09*** (1.59e-09)	-1.42e-09*** (1.66e-09)	-9.05e-09*** (3.20e-10)
Inflación		-0.0013031*** (0.0000739)	-0.0013912*** (0.0000803)	-0.0012755** (0.000073)	-0.0012951*** (0.0000685)	-0.0013348*** (0.0000756)	-0.001421*** (0.0000669)	-0.0017954*** (0.0001155)	-0.0011816*** (0.0001144)	-0.0011308*** (0.0001258)	-0.0010205*** (0.0001124)
Inversión			0.009659*** (0.0015886)	0.0204102*** (0.0019676)	0.0194777*** (0.0019669)	0.0152133*** (0.0023701)	0.0169089*** (0.0026222)	0.0795428*** (0.0022721)	0.0928655*** (0.0036894)	0.0948736*** (0.004231)	0.0609818*** (0.004903)
Apertura económica				0.0016527*** (0.0000473)	0.0016364*** (0.0000393)	0.0016593*** (0.0000601)	0.0016925*** (0.0000568)	0.0017479*** (0.0000784)	0.0015348*** (0.0000934)	0.0015432*** (0.0000692)	0.0016508*** (0.0000772)
Términos de intercambio					0.0001462*** (0.0000367)	0.0002106*** (0.0000305)	0.0002235*** (0.0000477)	0.0006121*** (0.0000366)	0.0003216*** (0.0000408)	0.0002983*** (0.000033)	0.0007673*** (0.00003)
Apertura financiera						0.0158706*** (0.0015508)	0.0171954*** (0.0018078)	-0.0037451† (0.000925)	-0.0048174† (0.0010516)	0.0043978 al .20 (0.0009421)	-0.0115925*** (0.0010661)
Profundización financiera							-0.0002776*** (0.000042)	-0.00017*** (0.0000715)	-0.0001728*** (0.0000647)	-0.0001729*** (0.0000628)	-0.0002419*** (0.0000591)
Consumo del gobierno								-0.0502586*** (0.0013706)	-0.0284582*** (0.0021877)	-0.0282044*** (0.0021454)	-0.047148*** (0.0026606)
Población									-7.08e-10*** (5.22e-11)	-7.61e-10*** (5.01e-11)	2.70e-12 † (7.05e-11)
Calidad institucional										-0.0121947*** (0.0017195)	-0.0195181*** (0.0026037)
Estabilidad política y ausencia de violencia/terrorismo											-0.011356*** (0.0043941)
Efectividad Gubernamental											-0.041595*** (0.0041042)
Calidad Regulatoria											-0.0098078 *** (0.0026588)
Constante	0.8265555*** (0.0283432)	0.8664776*** (0.0391553)	0.717704*** (0.0460812)	0.3970316*** (0.0508852)	0.3946765*** (0.0466661)	0.7123867*** (0.0592421)	0.6433376*** (0.0614811)	0.0081405*** (0.0663506)	0.154568** (0.0667692)	0.1804552 (0.0462207)	0.1797449*** (0.0991416)
Observaciones	620	616	557	556	556	554	554	550	550	550	498
Número de Países	62	62	61	61	61	60	60	60	60	60	60
Prueba de Arellano y Bond AR(1)	0.0010	0.0007	0.0002	0.0010	0.0010	0.0009	0.0005	0.0086	0.0309	0.0343	0.0138
Prueba de Arellano y Bond AR(2)	0.0463	0.0828	0.0656	0.5791	0.5802	0.5723	0.4422	0.8869	0.9150	0.9442	0.7835
Prueba de Sargan	0.1394	0.1366	0.2224	0.3039	0.2886	0.3471	0.3549	0.3600	0.3861	0.4271	0.3162

Nota. Elaborado por el Autor. Errores estándar en paréntesis. *, ** y *** indican niveles de significancia estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente. † representa significancia al 20%. ‡ indica no significancia.

Como rasgos principales se destaca que la variable de interés “dependencia de recursos” presenta el signo esperado y permanece estable en los modelos 4 a 11¹⁹⁸, es decir que la evidencia empírica presentaría pruebas a favor de que la dependencia de las exportaciones de combustibles fósiles tienen un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento de la economía. Los canales de transmisión económicos (efecto desplazamiento) también permanecen estables en la mayoría de los casos y con el signo correspondiente referido en la literatura (modelos 4 a 9), siendo los que presenta una relación inversa: la inflación, la población, y el gasto público, además, en los modelos 10 y 11, se observa que todas las variables relacionadas con la calidad institucional presentan un signo negativo, hecho notoriamente relevante, puesto que variables como la estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo, la efectividad gubernamental, la calidad de la regulación, el estado de derecho y el control de la corrupción, están directamente relacionadas con la gestión económica y de las políticas públicas como la política monetaria, cambiaria y comercial, por lo que el *efecto institucional* sería el mecanismo de transmisión directo e indirecto que actuaría a favor o en contra de la relación entre los recursos naturales (en este caso los combustibles fósiles) y el crecimiento económico (Arezki & Brückner, 2012; Arezki & van der Ploeg, 2007, 2010, 2011; Auty, 2000, 2001; Bhattacharyya & Hodler, 2014; Boyce & Herbert Emery, 2011; Brunnschweiler, 2008; E. Bulte & Damania, 2008; Cabrales & Hauk, 2011; Díaz Valdivia & Aliaga Lordemann, 2010; Mehlum et al., 2002; Frederick van der Ploeg, 2010; Frederick van der Ploeg, 2011; Yang, 2010). En síntesis el soporte empírico a nivel mundial respalda la relación inversa entre los combustibles fósiles y el crecimiento económico, lo que también se extiende al caso colombiano en especial por las condiciones relacionadas con la calidad institucional (deterioro de las instituciones, ineficiencia de la regulación, captura de rentas, etc.). Además, estos resultados están con correspondencia con otras investigaciones que involucran una muestra de países (panel de datos) en los que se encuentra Colombia, como por ejemplo, Blanco & Grier (2012); Morales-Torrado (2011). De otro lado, la parte inferior del cuadro 30 presenta las pruebas de Arellano-Bond y de Sargan, las cuales prueban respectivamente que los errores no estén serialmente correlacionados y que los instrumentos sean válidos; las pruebas corroboran que no hay autocorrelación serial y que los instrumentos son válidos (fuertes).

¹⁹⁸ En los modelos 1 a 3 el signo es positivo, sin embargo, estos resultados no son tan fiables puesto que utilizan pocos regresores, además de la ausencia de controles relevantes tanto de la teoría del crecimiento (inversión, trabajo), como desde la teoría de la maldición de los recursos (variables institucionales).

2.4.4.1. Aplicación a nivel agregado: relación entre exportaciones de combustibles fósiles y crecimiento económico. Factores condicionantes

En términos agregados (nivel nacional) los combustibles fósiles presentaron un comportamiento positivo, reflejado en algunos indicadores nacionales y del sector, sin embargo, como se indicó anteriormente dada su relevancia para la economía del país y en especial para por el peso que tienen en la cesta de exportaciones de Colombia, el análisis en este nivel se hace necesario tanto para corroborar los resultados a nivel internacional (donde Colombia hizo parte de la muestra), como para contrastarlos con los resultados a nivel regional que serán expuestos en el ítem siguiente. Además el repunte registrado en los últimos años por las exportaciones, la producción y las reservas, así como la tendencia creciente tanto en la IED y los precios internacionales en el período analizado, respaldarían la suposición de una relación positiva y no al contrario; una revisión de la evolución histórica de algunas magnitudes del sector respaldaría a priori esta suposición (figuras 51 52 y 53).

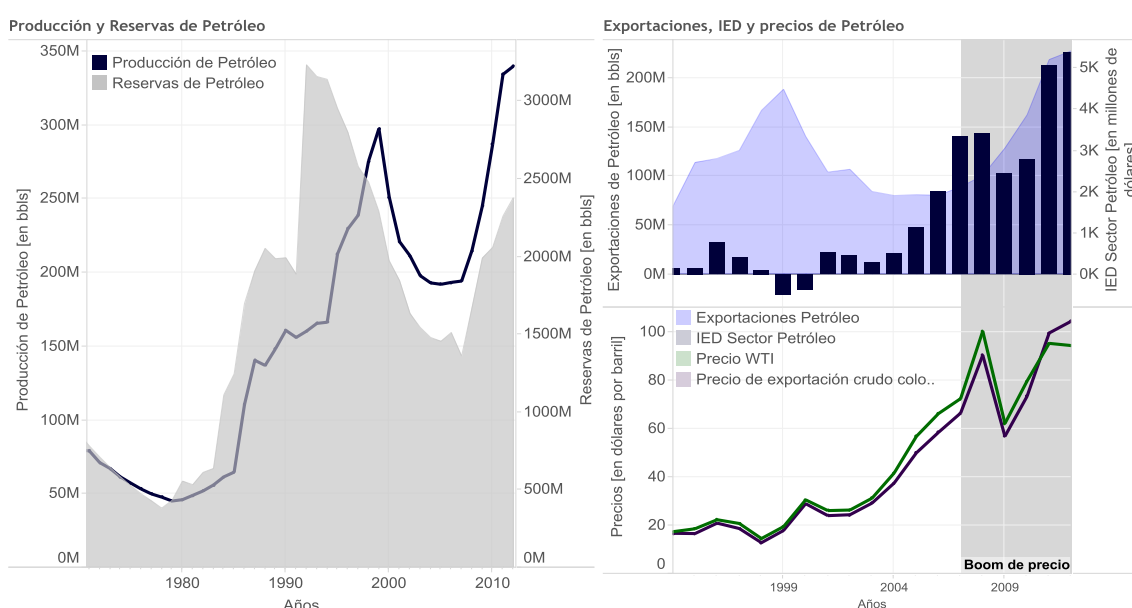


Figura 51. Evolución de algunas variables asociadas al petróleo

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial y cálculos propios. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015.

Un aspecto destacado en el procedimiento de las estimaciones de la relación entre combustibles fósiles y crecimiento económico fue la realización de varias estimaciones utilizando dos niveles de indicadores para probar la hipótesis de la maldición de los recursos. En este sentido se utilizó un indicador de dependencia de recursos (utilizando las exportaciones) y otro de abundancia de recursos (utilizando la producción), siguiendo la línea argumental de Arezki & van der Ploeg (2007), y Brunnschweiler & Bulte (2008) quienes

sostienen que la utilización de las exportaciones como variable de recursos naturales es más un indicador de la dependencia de que la abundancia de recursos.

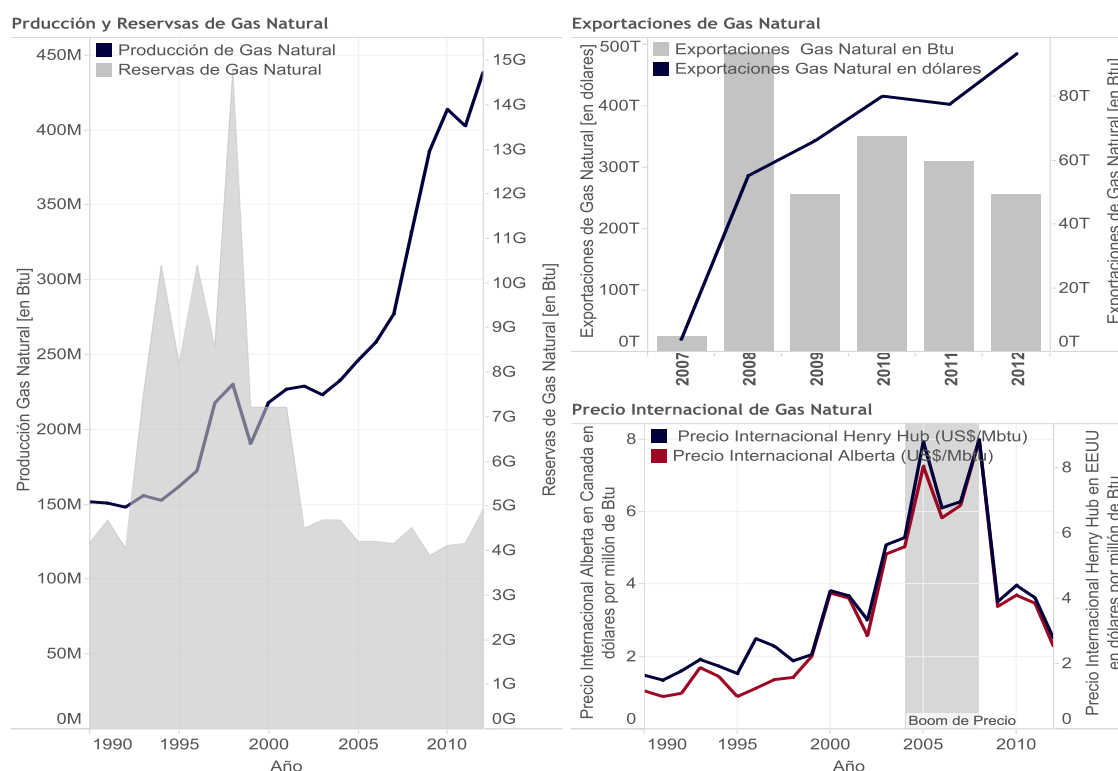


Figura 52 Evolución de algunas variables asociadas al gas natural

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial y cálculos propios. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015.

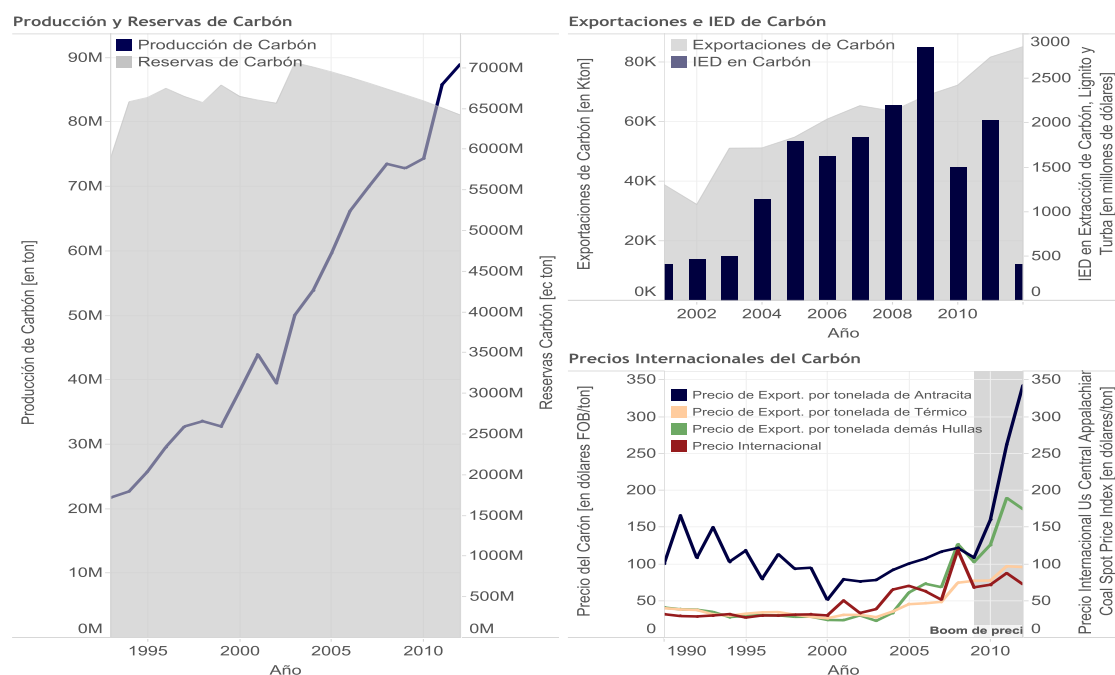


Figura 53. Evolución de algunas variables asociadas al carbón

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial y cálculos propios. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015. Precio Internacional: Us Central Appalachian Coal Spot Price Index.

Al igual que en el caso anterior se realizaron varias estimaciones incrementando progresivamente el número de variables para controlar por distintos factores tanto económicos como institucionales. Asimismo se partió de un modelo estándar de crecimiento y se utilizaron las siguientes variables: nivel inicial de PIB constante 2005 (que permite capturar la convergencia transicional presente en los modelos teóricos de crecimiento económico), inflación, inversión, gasto público, regalías petróleo y carbón per cápita, población, controles institucionales, estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo, efectividad gubernamental, calidad regulatoria, estado de derecho. Como se aclaró en el punto anterior, las variables se clasifican según el mecanismo de transmisión al que pertenecen (efecto desplazamiento o efecto institucional), y de igual manera se utilizó la base de datos “Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI)” del Banco mundial y del Worldwide Governance Indicators, para construir la base de datos de Colombia para el período 1990-2012.

Finalmente al tratarse de datos de series de tiempo para una sola unidad de estudio (Colombia) la metodología utilizada fue la de variables instrumentales con el estimador de GMM, método generalizado de momentos, además se crearon varios bloques de modelos utilizando como variables que reflejan la *dependencia* de recursos (energéticos): De forma agregada se utilizó la participación porcentual de las exportaciones de combustibles fósiles en las exportaciones totales, y de forma desagregada se utilizó las exportaciones de petróleo sobre PIB por trabajador en precios constante de 1990, las exportaciones de gas natural sobre PIB por trabajador en precios constante de 1990 y las exportaciones de carbón sobre PIB por trabajador en precios constante de 1990. Para reflejar la *abundancia* de recursos se utilizó las reservas petróleo per cápita, las reservas Gas Natural per cápita y las reservas Carbón per cápita (todas expresadas en tep/per cápita), construidas por cálculos propios a partir de los registros de la base de datos WDI. Los resultados de las regresiones se presentan en los cuadros 31 y 32. En la parte final de cada cuadro presentan los estadísticos de diagnóstico; todos los modelos superan las pruebas de endogeneidad, instrumentos no es débiles y sobreidentificación de instrumentos.

Como hechos significativos se destaca que en cinco de los seis modelos de este bloque, se presenta que la variable de exportaciones de combustibles fósiles en conjunto sobre las exportaciones totales (medida de dependencia de recursos) es significativa y presenta el signo negativo indicando por la literatura (Sachs & Warner, 1995, 2001). En cuanto a las variables económicas, estas también tienen el signo esperado y son significativas salvo el gasto público.

Por otra parte, la variable institucional “estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo”, presentó signo negativo y significancia al 1%¹⁹⁹; es claro que las condiciones de orden público son débiles debido al conflicto armado que vive el país desde hace varias décadas y esto ha afectado política y económicamente al país, sin embargo, más allá de esto el resultado de esta variable institucional es relevante puesto que permite formular una conjetura acerca del canal de transmisión institucional: el efecto negativo de esta variable institucional podría asociarse a la ineficiencia del Estado para estabilizar las condiciones políticas del país, lo que podría favorecer el surgimiento de grupos interesados en la captura de las rentas de hidrocarburos y carboníferas, y la ineficiencia de la administración pública en su gestión y la corrupción alrededor de estos sectores, por lo que el canal de transmisión institucional podría tener un efecto combinado con el canal de transmisión económico o incluso un efecto indirecto sobre el crecimiento²⁰⁰, lo cual estaría en correspondencia con los planteamientos de autores como (Arezki & Brückner, 2011; Arezki & van der Ploeg 2007; Boyce & Emery, 2011; Brunnschweiler, 2008; Brunnschweiler & Bulte, 2008; Bulte et al., 2005; Busse & Gröning, 2013; Collier, van der Ploeg, Spence, & Venables, 2010; Mehlum et al., 2002; van der Ploeg, 2010, 2011), que sostienen que los recursos naturales pueden ser una maldición o una bendición según sea la calidad de sus instituciones.

¹⁹⁹ Los demás indicadores de calidad institucional resultaron no significativos, por lo que no se incluyen en las estimaciones.

²⁰⁰ No obstante, esta conjetura requiere de un análisis más detallado que por falta de información y por escapar al objeto de estudio de esta investigación no se profundiza.

Cuadro 31. Resultados de las regresiones por variables instrumentales en GMM para la estimación individual y variable de dependencia de recursos a nivel agregado

Estimación para Dependencia de Recursos

Variable dependiente: Tasa de crecimiento PIB constant

Variables Instrumentales - GMM

Regresores / modelo	1	2	3	4	5	6
Nivel inicial de PIB constante 2005	0.0000369*** (9.04e-06)	0.0000341*** (7.85e-06)	-0.000208*** (0.0000175)	-0.0001514*** (0.0000273)	-0.000187*** (0.0000304)	-0.0002546*** (0.0000139)
<u>Dependencia de recursos</u>						
Part.% export combustibles fósiles en export totales	-0.0937598** (0.0394551)	-0.1149154** (0.0548864)	-0.1720298*** (0.0418425)	-0.0165814*** (0.0395047)	-0.2161138*** (0.0411272)	-0.1658369*** (0.050405)
<u>Otros controles</u>						
Inflación		-0.00002068† (0.0003724)	-0.0018001*** (0.0003485)	-0.0017973*** (0.0004209)	-0.0021604*** (0.0006389)	0.0025778** (0.0012122)
Inversión			4.01e-12*** (3.20e-13)	3.10e-12*** (4.70e-13)	3.67e-12** (4.98e-13)	3.41e-12*** (4.19e-13)
Gasto Público				-0.2028591** (0.0980692)	-0.0528102† (0.141764)	0.0327951† (0.1213232)
Regalías petróleo y carbón per cápita					0.0003635*** (0.0000904)	0.0002785*** (0.0000799)
Población						1.43e-08*** (2.17e-09)
<u>Controles Institucionales</u>						
Estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo						-0.0726374*** (0.0239508)
Constante	-0.0668742*** (0.0166433)	-0.0464883** (0.0184501)	0.6701188*** (0.0473694)	0.5660965*** (0.0703253)	0.6402862*** (0.0694889)	0.1901361** (0.1004412)
Obsevaciones	22	22	22	22	19	19
R ²	0.0720	0.0650	0.7797	0.7891	0.8451	0.8800
Wald p-valor	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nota. Elaborado por el Autor. Errores estándar en paréntesis. *, ** y *** indican niveles de significancia estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente. † representa significancia al 15%.

Regresores / modelo	1	2	3	4	5	6
<u>prueba de endogeneidad</u>						
GMM C statistic	0.5595	0.5879	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
<u>prueba de instrumentos débiles</u>						
R ²	0.9982	0.9990	0.9994	0.9994	0.9997	0.9998
R ² ajustado	0.9980	0.9988	0.9992	0.9992	0.9996	0.9996
R ² parcial	0.9918	0.9952	0.9837	0.9715	0.9858	0.9799
R ² parcial ajustado	0.9909	0.9944	0.9798	0.9625	0.9787	0.9671
HAC F (1, 19)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Valor propio mínimo (significativo al 5 y 10%)	1088.48	1776.55	481.78	255.211	381.251	243.539
<u>prueba de sobreidentificación de instrumentos</u>						
Hansen's J	0.2455	0.1028	0.4147	0.0270	0.4358	0.2922

Nota. Elaborado por el Autor. Se considera el nivel inicial del PIB como regresor endógeno y se instrumentaliza con su primer rezago. Los estadísticos de la prueba de endogeneidad GMC y de la prueba de instrumentos débiles HAC F corresponden a los p-valor. El p-valor para la prueba de endogeneidad indica que la variable valor inicial del PIB, puede ser manejada como una variable exógena y el p-valor de la prueba HAC F indica que el instrumento no es débil, esto se corrobora con el estadístico del valor propio mínimo (significativo al 5 y 10%, 5%). La prueba sobreidentificación de Hansen indica que no hay sobreidentificación de instrumentos.

El siguiente bloque de modelos también presenta seis modelos y la misma estructura, salvo que en este bloque se utiliza otras medidas de dependencia de recursos para dar mayor sustento a los resultados anteriores. Los resultados son similares al primer bloque anterior tanto en el signo esperado como en la estabilidad que presentan a medida que se incrementan las variables explicativas, además, los canales económicos y el institucional también son significativos y guardan correspondencia con el signo esperado²⁰¹.

²⁰¹ Puesto que los resultados de las variables económicas y la institucional del este segundo bloque son semejantes a los del bloque anterior y estos ya se comentaron, se omite la referencia de esta variables en el bloque de regresiones del cuadro 33.

Cuadro 32. Resultados de las regresiones por variables instrumentales en GMM para la estimación individual y variable de dependencia de recursos a nivel desagregado

Estimación para Dependencia de Recursos

variable dependiente: Tasa de crecimiento PIB constant

Regresores / modelo	Variables Instrumentales - GMM					
	1	2	3	4	5	6
Nivel inicial de PIB constante 2005	-0.0000696*** (0.0000231)	-0.0000651*** (0.0000184)	-0.0002678*** (0.0000178)	-0.0002506 *** (0.000026)	-0.0001708*** (0.0000267)	-.0002271*** (0.0000263)
<u>Dependencia de recursos</u>						
Exportaciones de petróleo sobre PIB por trabajador	-0.0000326** (0.0000137)	-0.0000415*** (0.0000158)	-0.0001196*** (0.8.41e-06)	-0.0001151*** (0.0000105)	-0.0000658*** (0.0000126)	-0.0000537*** (0.0000132)
Exportaciones de gas natural sobre PIB por trabajador	-1.27e-06*** (0.2.68e-07)	-1.50e-06*** (0.2.95e-07)	-8.46e-07*** (1.20e-07)	-8.85e-07*** (0.18e-07)	-1.65e-06*** (2.17e-07)	-1.53e-06*** (2.54e-07)
Exportaciones de carbón sobre PIB por trabajador	3.89e-07*** (0.8.66e-08)	4.28e-07*** (0.9.21e-08)	1.17e-07*** (0.2.89e-08)	1.13e-07*** (0.2.26e-08)	-6.74e-08*** (4.47e-08)	-1.12e-07* (6.17e-08)
<u>Otros controles</u>						
Inflación		0.000363*** (0.0002802)	-0.0011318*** (0.0001516)	-0.0011122*** (0.0001343)	-0.0009645*** (0.0001635)	0.0030411*** (0.0003937)
Inversión			5.62e-12*** (4.67e-13)	5.33e-12*** (0.5.41e-13)	4.29e-12*** (3.94e-13)	4.11e-12*** (3.63e-13)
Gasto Público				-0.0861541*** (0.0415124)	-0.2907884*** (0.0618351)	-0.1293503† (0.0848759)
Regalías petróleo y carbón per cápita					0.0009493*** (0.0001948)	0.0008686*** (0.0002615)
Población						1.35e-08*** (1.06e-09)
<u>Controles Institucionales</u>						
Estabilidad política y/o ausencia de violencia/terrorismo						-0.0647974*** (0.0119384)
Efectividad gubernamental						
Calidad regulatoria						
Estado de derecho						
Constante	0.2071516*** (0.0657523)	0.1859823*** (0.0493451)	0.7721687*** (0.0521054)	0.7476018*** (0.066537)	0.5682299*** (0.0665953)	0.1186999* (0.0679842)
Obsevaciones	22	22	22	22	0679842	0679842
R ²	0.2785	0.2759	0.8664	0.8682	0.9077	0.9376
Wald p-valor	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nota. Elaborado por el Autor. Errores estándar en paréntesis. *, ** y *** indican niveles de significancia estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente. † representa significancia al 15%.

Regresores / modelo	1	2	3	4	5	6
<u>prueba de endogeneidad</u>						
GMM C	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
<u>prueba de instrumentos débiles</u>						
R ²	0.9992	0.9994	0.9994	0.9995	0.9998	0.9999
R ² ajustado	0.9989	0.9992	0.9991	0.9992	0.9997	0.9998
R ² parcial	0.9906	0.9921	0.9818	0.9526	0.9714	0.9787
R ² parcial ajustado	0.9884	0.9897	0.9746	0.9290	0.9485	0.9574
HAC F (1, 19)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Valor propio mínimo	843.531	946.024	378.436	130.772	152.834	183.726
<u>prueba de sobreidentificación de instrumentos</u>						
Hansen's J	0.1206	0.2576	0.3720	0.1816	0.2718	0.0164

Nota. Elaborado por el Autor. Se considera el nivel inicial del PIB como regresor endógeno y se instrumentaliza con su primer rezago. Todos los estadísticos de las pruebas de endogeneidad y el estadístico HAC F de la prueba de instrumentos débiles corresponden a los p-valor. El p-valor para las pruebas de endogeneidad y la prueba HAC F; indican que la variable: valor inicial del PIB, debe ser manejada como una variable endógena y el p-valor de la prueba HAC F indica que el instrumento no es débil, esto se corrobora con el estadístico del valor propio mínimo (significativo al 5 y 10%, 5%). La prueba sobreidentificación de Hansen indica que no hay sobreidentificación de instrumentos.

El punto relevante en este segundo bloque es el comportamiento de las variables de dependencia de recursos (combustibles fósiles). Al introducir una variable de dependencia

para cada tipo de combustible fósil, se observa una alternancia de signo para las exportaciones de carbón sobre PIB por trabajador, mientras que las exportaciones de hidrocarburos conservan el signo negativo en las seis estimaciones, además en todos los casos los coeficientes son significativos. En el caso puntual de las exportaciones de carbón los modelos cinco y seis podrían ser más ajustado puesto que incluyen más controles y presentan el coeficiente de bondad del ajuste (R^2) más alto. Además esta alternancia de signo no invalida el sentido general de la relación inversa entre combustibles fósiles y crecimiento puesto que los hidrocarburos ocupan un mayor peso en las exportaciones y generan un mayor efecto contagio por la volatilidad de los precios (Ehrhart & Guérineau, 2013; Villafuerte & López-Murphy, 2010).

Por último se realizó un tercer bloque de regresiones utilizando esta vez una variable que expresa la *abundancia* de recursos con el fin de contrastar tanto la evidencia anterior como la literatura crítica sobre la diferencia entre dependencia y abundancia de recursos (Arezki & van der Ploeg, 2007; Brunnschweiler, 2008; Brunnschweiler & Bulte, 2008). Los resultados se encuentran en el anexo 9. Se utilizaron tres medidas de abundancia de recursos: producción de petróleo en miles de barriles producidos día calendario per cápita, producción de gas natural en pies cúbicos per cápita y producción de carbón en toneladas per cápita. De esta forma la cantidad de recursos por habitante se aproxima a una medida del grado de abundancia por cada combustible fósil. En este bloque de modelos los resultados de las variables de control económicas e institucionales se alteran, en las primeras el signo no corresponde al esperado y en la variable institucional estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo no se tuvo en cuenta puesto que resultó no significativa, en su lugar se utilizó la variable calidad regulatoria que fue significativa y de signo negativo. No obstante el punto más importante, en este bloque es que los signos de los coeficientes de la variable producción de gas natural per cápita fueron altamente inestables presentando tanto alternancias de signo como no significatividad en la mayoría de las regresiones, además la variable de producción de carbón per cápita nuevamente tuvo signo positivo en todas las regresiones. Sólo la variable producción de petróleo per cápita fue estable, significativa y de signo negativo. Este hecho podría sugerir que la variable de abundancia no es relevante en la relación inversa entre crecimiento y combustibles fósiles, sin embargo esta conjetura necesitaría un análisis más detallado.

Finalmente los resultados expuestos en los bloques uno y dos son consistentes con otros trabajos realizados para Colombia a nacional (Campo & Sanabria, 2013; Cárdenas, 2005;

Cárdenas & Reina, 2008; Perla, 2012; Perry et al., 2010; Perry & Olivera, 2009; Perry et al., 2012).

2.4.4.2. Aproximación cuantitativa a nivel desagregado: Regiones productoras y no productoras, y la abundancia de los recursos

En cuanto al nivel de análisis regional se utilizó la totalidad de los departamentos del país (32 departamentos), y se realizaron dos modificaciones con relación a las variables utilizadas en los bloques anteriores. En primer lugar se utilizó como variable representativa de los recursos, una medida de *Abundancia* de recursos en lugar de la variable convencional de *Dependencia* de recursos, la razón de este cambio es que no se dispone de registros estadísticos de exportaciones por tipo de combustible fósil detallado por departamentos²⁰². El otro cambio fue la utilización de la variable orden público construida a partir de la frecuencia de ataques por conflicto armado presentes en los departamentos, utilizando para su cálculo los informes del Centro Nacional de Memoria Histórica, el Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC) y PBI Colombia, este cambio obedece a que las variables normalmente utilizadas en la literatura sobre crecimiento económico y calidad institucional, están computadas a nivel nacional y no sub nacional²⁰³, por lo que no se pudieron utilizar en el análisis a nivel departamental. Una alternativa pudo ser la utilización de los indicadores de la transparencia de la administración departamental (ITDG), y de las contralorías departamentales (ITDC) de Transparencia Internacional, pero no se dispone de datos para todos los años de la muestra seleccionada.

Las variables incluidas fueron: tasa de crecimiento del PIB en pesos constantes de 2005, nivel inicial de PIB constante 2005, producción de petróleo y carbón (en pesos per cápita y KBPDC per cápita), inflación, población, regalías de petróleo y carbón per cápita, y orden público. Asimismo, al tratarse de una muestra de datos de panel la metodología empleada fue el estimador de Blundell & Bond (1998) en el contexto de los datos de panel dinámicos,

²⁰² Los datos reportados por las Instituciones de referencia en el acopio y publicación de la información minero energético, UPME, ANH y DANE, sólo presenta las estadísticas de exportaciones por tipo de combustible fósil a nivel nacional.

²⁰³ Como es el caso de las bases de datos: “Economic Freedom” del Fraser Institute; “Índice de Desarrollo Democrático de América Latina –IDD-LAT-” de la Fundación Konrad Adenauer; “The Qog Basic Dataset” del Quality of Government Institute – University of Gothenburg; “The Worldwide Governance Indicators” del Natural Resource Governance Institute (NRGI) y World Bank - Development Research Group, y “Freedom in the World” de Freedom House.

utilizando el Método Generalizado de Momentos en Diferencias (Sistémicos), para el período 2004-2010²⁰⁴

A continuación se presenta de forma resumida en la figura 54, el ingreso per cápita promedio (en pesos constantes) por departamento para el período 1990-2012, así como la producción acumulada de petróleo y carbón para el mismo período. Se destaca en la figura que los departamentos con la mayor producción acumulada de petróleo presentan un PIB per cápita por encima del promedio nacional, mientras que los dos principales departamentos carboníferos que acumulan más del 90% de la producción nacional se ubican por debajo. Para contrastar esta tendencia en los datos se presenta a continuación dos bloques de regresiones conforme al planteamiento utilizado en los otros casos.

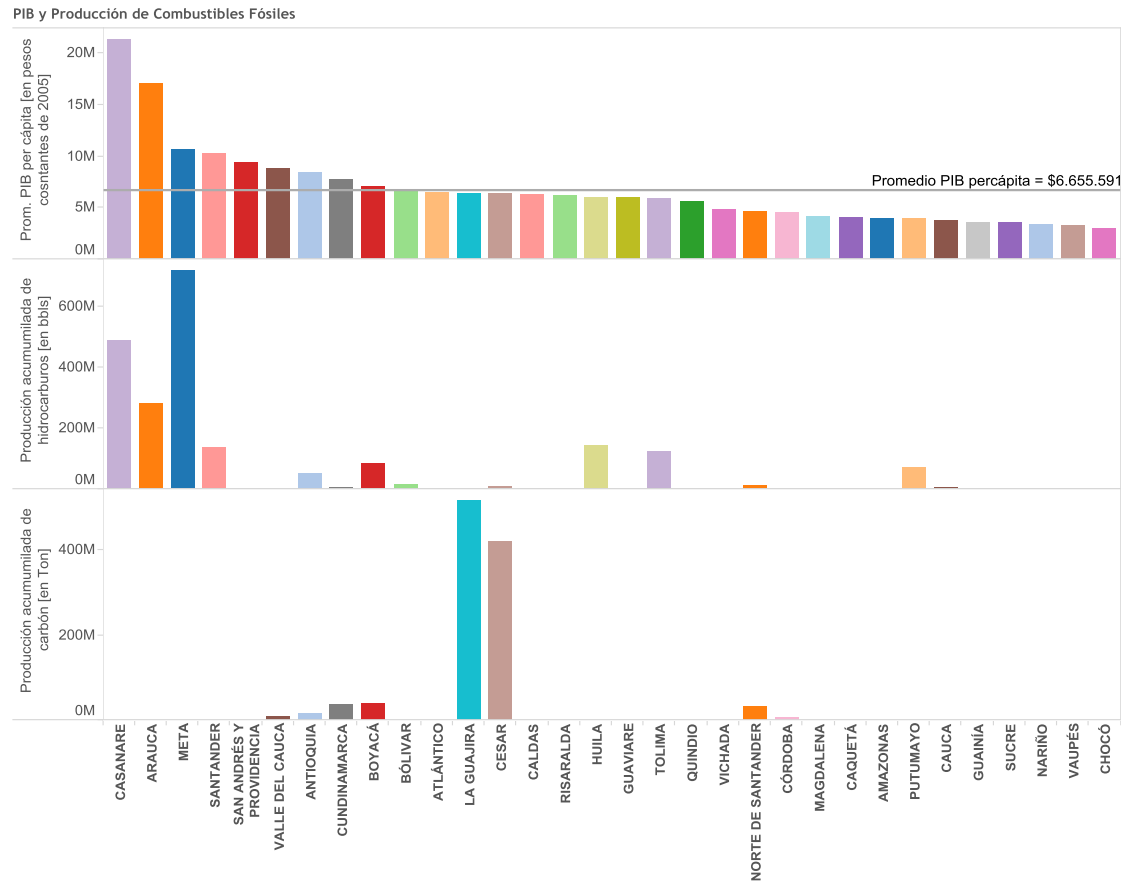


Figura 54. PIB per cápita y producción de petróleo y carbón por departamento

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del DANE y la UPME.

Los dos bloques de modelos presentan la misma estructura; se realizan seis estimaciones y se utilizan los mismos controles económicos, así como el institucional. Incluso ambos bloque

²⁰⁴ Se utilizó un menor período de estudio siguiendo las pautas de la literatura empírica que recomienda la utilizan con de series menores o iguales a 10 años debido a que esta metodologías es proclive a la generación de instrumentos, por lo que períodos de tiempo extensos podrías convoyar problemas de sobreidentificación de instrumentos, e invalidar los resultados de las modelaciones.

utilizan una medida de abundancia de recursos, la diferencia radica en la unidad de medida de las variables de abundancia de combustibles fósiles: en el primer caso se utilizó la producción de petróleo y carbón en *pesos per cápita*, y en el segundo bloque se utilizó la producción de petróleo y carbón en *KBPDC per cápita* con el propósito contrastar las dos medidas de abundancia de recursos tanto en el nivel departamental como comparativamente con el nivel nacional, y lograr resultados más robustos. Además, de probar la significancia y estabilidad del signo negativo de la variable objeto de estudio “los Combustibles fósiles”. Los resultados se resumen en los cuadros 33 y 34.

Cuadro 33. Bloque 1 de estimaciones de panel dinámico para departamentos

Variable dependiente: Tasa de crecimiento del PIB en pesos constantes de 2005						
System GMM en Diferencias						
Regresores / modelo	1	2	3	4	5	6
Nivel inicial de PIB constante 2005	-0.1957174*** (0.0050203)	-0.229913*** (0.005718)	-0.2284383*** (0.0088559)	-0.227001*** (0.0094628)	-0.2358461*** (0.009795)	-0.2321942*** (0.0107713)
<u>Abundancia de recursos</u>						
Producción de petróleo (en pesos per cápita)	-0.0002321*** (0.0000117)	-0.0001179*** (0.0000119)	0.0000789*** (0.0000126)	-0.0000951*** (0.000025)	-0.0000584** (0.0000237)	-0.0000195 ‡ (0.0000249)
Producción de carbón (en pesos per cápita)	0.0052535*** (0.0001242)	0.0042963*** (0.0002457)	0.0048243*** (0.000244)	0.0029943*** (0.0002778)	0.0017137*** (0.0003124)	0.0030901*** (0.000649)
<u>Controles</u>						
Inflación		-0.9196616*** (0.0242926)	-0.9014472*** (0.0268563)	-0.808813*** (0.0401583)	-0.8017608*** (0.0461844)	-0.8018615*** (0.0581102)
Población			3.19e-08*** (5.40e-09)	3.57e-08*** (6.27e-09)	3.63e-08*** (5.25e-09)	2.39e-08*** (7.25e-09)
Regalías de petróleo per cápita				2.77e-08*** (3.25e-09)	3.17e-08*** (4.75e-09)	2.70e-08*** (3.47e-09)
Regalías de carbón per cápita					9.61e-08*** (1.73e-08)	1.19e-07*** (1.32e-08)
<u>Control Institucional</u>						
Orden público						-0.0620667*** (0.0282558)
Constante	0.0334811*** (0.0003386)	-0.0043044*** (0.0012099)	-0.0439583*** (0.0045478)	-0.0440174*** (0.0060487)	-0.0439016*** (0.0057664)	-0.005658*** (0.0283781)
Observaciones	256	256	256	256	256	256
Número de Departamentos	32	32	32	32	32	32
Prueba de Arellano-Bond AR(1)	0.0051	0.0022	0.0022	0.0026	0.0029	0.0027
Prueba de Arellano-Bond AR(2)	0.3434	0.8583	0.8331	0.7511	0.7253	0.6975
Prueba de Sargan	0.3785	0.3191	0.3044	0.2947	0.3827	0.3224

Nota. Elaborado por el Autor. Errores estándar en paréntesis. *, ** y *** indican niveles de significancia estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente. ‡ indica no significancia.

Cuadro 34. Bloque 2 de estimaciones de panel dinámico para departamentos

Variable dependiente: Tasa de crecimiento del PIB en pesos constantes de 2005						
System GMM en Diferencias						
Regresores / modelo	1	2	3	4	5	6
Nivel inicial de PIB constante 2005	-0.2037458*** (0.0074)	-0.239619*** (0.0092946)	-0.2348454*** (0.0096947)	-0.2322199*** (0.0093476)	-0.2368112*** (0.0094184)	-0.2392774*** (0.0095565)
<u>Abundancia de recursos</u>						
Producción de petróleo per cápita (en KBPDC per cápita)	-0.0002377*** (0.0000155)	-0.0001312*** (0.0000177)	0.0000576*** (0.0000151)	-0.0001349*** (0.0000237)	-0.0000995*** (0.0000229)	-0.0000687*** (0.0000262)
Producción de carbón (en KBPDC per cápita)	0.0052164*** (0.0003749)	0.0041807*** (0.0004182)	0.0041732*** (0.0006055)	0.0028099*** (0.0003662)	0.0020439*** (0.0002851)	0.0029351*** (0.0006627)
<u>controles</u>						
Inflación		-0.867032*** (0.0405017)	-0.8507176*** (0.03491)	-0.787328*** (0.0455053)	-0.8036303*** (0.0440517)	-0.7707189*** (0.0581187)
Población			2.73e-08*** (4.56e-09)	2.94e-08*** (4.84e-09)	3.26e-08*** (5.13e-09)	2.54e-08*** (6.05e-09)
Regalías de petróleo per cápita				2.79e-08*** (3.14e-09)	2.69e-08*** (3.12e-09)	2.59e-08*** (3.49e-09)
Regalías de carbón per cápita					8.56e-08*** (1.48e-08)	1.01e-07*** (1.55e-08)
Orden público						-0.0493083** (0.024728)
Constante	0.0337886*** (0.0006615)	0.0015348† (0.0022914)	-0.035309*** (0.0043012)	-0.0345661*** (0.0050926)	-0.0394893*** (0.0052932)	0.0008998† (0.0231248)
Observaciones	256	256	256	256	256	256
Número de Departamentos	32	32	32	32	32	32
Prueba de Arellano-Bond AR(1)	0.0052	0.0027	0.0027	0.0029	0.0028	0.0028
Prueba de Arellano-Bond AR(2)	0.3599	0.8590	0.8253	0.7578	0.7394	0.7136
Prueba de Sargan	0.2417	0.1830	0.2060	0.1723	0.1738	0.1628

Nota. Elaborado por el Autor. Errores estándar en paréntesis. *, ** y *** indican niveles de significancia estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente. ‡ indica no significancia.

En ambos casos los resultados siguen el mismo comportamiento: los coeficientes negativos en las variables explicativas relacionadas con el nivel inicial del PIB indican que se presenta convergencia transicional entre departamentos, es decir que los departamentos con menor nivel de ingreso presentan mayores tasas de crecimiento convergiendo de esta manera en el largo plazo, estos resultados están en correspondencia con trabajos como los de Bonet & Meisel (1999), Carreño & Portilla (2011), León & Ríos (2013) y Meisel (2007) entre otros, a pesar de que estudian la convergencia departamental fuera del contexto de los combustibles fósiles (como si se hace en esta investigación). En los controles o mecanismos de transmisión económicos, la inflación genera un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento, como se referencia en la teoría del crecimiento (De Gregorio, 2008; Mankiw, 2002, 2009; Rodríguez, 2011), además, guardan correspondencia con trabajos como los de Perry et al., (2010), y Perry & Olivera (2009). En cuanto a la variable institucional, al igual que en los modelos de la muestra internacional y los realizados a nivel nacional, esta variable fue significativa y de signo negativo; a pesar de que sólo se utiliza un control en la calidad institucional, este resultado apoya la conjetura de que el nivel de canal institucional condiciona directa e indirectamente el signo de la relación entre combustibles fósiles y crecimiento; conjetura que ha sido ampliamente argumentada y demostrada en la literatura empírica de corte institucional (Arezki & van der Ploeg, 2007, 2010; Brown, 2014; Brunnschweiler, 2008; Brunnschweiler & Bulte, 2008; Bulte & Damania, 2008; Bulte et al., 2005; Collier et al., 2010; Kolstad & Wiig, 2009; Mehlum et al., 2002; Ross, 1999; Ross, 2001; Strulik, 2012a, 2012b; Tornell & Lane, 1999; Vallina, 2000; van der Ploeg, 2010, 2011; van der Ploeg & Rohner, 2012; Yang, 2010).

Finalmente, las cuatro medidas de abundancia de recursos de combustibles fósiles utilizadas en las regresiones a nivel departamental, siguen el mismo comportamiento que las regresiones a nivel nación, soportando de forma más sólida una relación inversa entre combustibles fósiles y crecimiento económico tanto en las medidas de dependencia como de abundancia de recursos. Este hecho se podría deber a que las exportaciones de petróleo tienen un mayor peso en la cesta de exportaciones del país, así como una mayor precesión en el territorio nacional; la producción de hidrocarburos está presente en 21 departamentos mientras que en carbón sólo hay presencia en 10 departamentos, de los cuales como se ha mencionado cerca del 90% de la producción se concentra en dos departamentos. Además la volatilidad de los precios del petróleo impacta en la economía con mayor fuerza tanto por los choques externos

como de forma indirecta por choques de precios en los derivados del petróleo utilizados ampliamente en toda la economía, mientras que no ocurre lo mismo con el carbón.

No obstante, con relación al carbón por ser un subsector de la minería, estos resultados deben ser interpretados con precaución en vista de la creciente literatura en el país sobre el efecto adverso de la minería (que incluye la minería del carbón) en términos sociales debido a la generación de incentivos adversos que crea el modelo de desarrollo basado en la explotación de recursos naturales. A este respecto el informe de Peace Brigades International argumenta que las comunidades de pequeños agricultores, pueblos indígenas, y afrocolombianos sufren más directamente los daños ambientales, culturales y socioeconómicos causados por estos megaproyectos mineros, y sostiene además, que en la última década el 80% de las violaciones de los derechos humanos que se han producido en el país se cometieron en la minería y regiones productoras de energía, adicionalmente el 87% de la población desplazada en Colombia en este período se originan en estas regiones (PBI-Colombia, 2011, p. 3). Por lo que el análisis del sector carbonífero requiere de un análisis adicional en el marco de la minería en conjunto.

CAPÍTULO TERCERO

3. LA BASE MATERIAL DE LA ECONOMÍA COLOMBIANA: DIMENSIÓN BIOFÍSICA Y LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

“Nada podrá estar más alejado de la verdad que afirmar que el proceso económico es una cuestión aislada y circular, tal como lo representa el análisis tradicional (...) El proceso económico está cimentado sólidamente en una base material sujeta a determinadas restricciones. En razón de estos obstáculos, el proceso económico tiene una evolución unidireccional irrevocable. En el mundo de la economía, sólo el dinero circula en dos direcciones de un sector económico a otro. Si se considera esto último parecería que los economistas han sucumbido ante el peor fetichismo económico: el monetario”.

Nicholas Georgescu-Roegen, 1971.

3.1. CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DEL FLUJO DE MATERIALES

En este capítulo se abordan los combustibles fósiles desde la perspectiva biofísica, es decir desde las interrelaciones sociales y económicas con el medio natural. De esta forma se amplía el espectro de análisis sobre estos recursos más allá de la dimensión monetaria (Carpintero & Naredo, 2004; Naredo, 2004a, 2006b). Este análisis resulta relevante puesto que la forma en que las sociedades y los individuos interactúan, así como las relaciones culturales y económicas que se desprenden de dichas interacciones no se realizan en un medio abstracto sino en un medio físico, por tanto este medio se ve alterado por los patrones de conducta social, cultural y económica de las sociedades. Así el medio físico se ve afectado tanto por los recursos naturales que se extraen, como por los residuos que se vierten sobre él derivados de los procesos de transformación y consumo dentro del proceso económico (Schandl, Grünbühel, Haberl, & Weisz, 2002), el estudio de estas relaciones biofísicas se conoce como *metabolismo socioeconómico* (Ayres, 1989; Costanza, 1999; Krausmann et al., 2009; Martinez-Alier et al., 2010; Roca, 2008), y permite estudiar los conflictos que se presentan entre el crecimiento económico y la sostenibilidad ecológico-ambiental.

Por otra parte, la creciente dinámica de internacionalización, búsqueda de mercados globales, libreta de movimiento de capitales y mercancías, induce a generar mayores relaciones socioeconómicas entre distintas regiones del planeta, por lo que la interacción entre diferentes culturas y sociedades extiende los efectos sobre el medio físico a otras regiones internacionalizando los impactos ambientales (Pérez, 2006b), en este nuevo contexto cada vez más interconectado e interdependiente, el comercio internacional comporta perjuicios en términos ecológicos, puesto que si bien es un factor que incentiva el crecimiento económico, también es un factor que ejerce presiones ambientales asimétricas, puesto que canaliza el trasvase de costos ambientales entre los países que comercian (Behrens et al., 2007; Bringezu et al., 2004; Dittrich & Bringezu, 2010; Muñoz, Strohmaier, & Roca, 2011), siendo frecuentemente los países ricos en recursos naturales los menos beneficiando del intercambio comercial. Según Pérez (2006b) esta situación se presenta debido a que:

Las ventajas comparativas hacen que estos países se especialicen en la producción y exportación de bienes natural-intensivos e importen bienes capital-intensivos. Este patrón de especialización conlleva mayores costos ecológicos puesto que los recursos exportados no incluyen en los precios de exportación la pérdida, ni la depreciación del patrimonio ambiental. A su vez, los términos de intercambio del comercio internacional, junto a las relaciones desiguales de poder entre Norte y Sur, hacen que se requiera cada vez exportar y explotar más recursos naturales para obtener la misma cantidad de bienes importados²⁰⁵. (p.xiii)

Como se observó en el capítulo dos Colombia sigue un patrón primario-exportador con una importante presencia de los hidrocarburos y el carbón tanto en sus exportaciones como en la actividad económica del país, por lo que el estudio de las implicaciones de este patrón primario-exportador desde el enfoque del metabolismo socioeconómico es significativo para comprender la dinámica de los combustibles fósiles en términos metabólicos, así como el papel del comercio internacional en dicha dinámica.

Con este escenario como referencia la implicación en términos biofísicos de la dependencia de los combustibles fósiles tiene una evidente connotación negativa (que será estudiada en detalle en este y el próximo capítulo) aunque soslayada por los buenos resultados que han supuesto

²⁰⁵ Este punto en concreto analizará en detalle en el capítulo cuatro.

en términos económicos para el comercio internacional. No obstante, como ya se mencionó este aparente aumento de la riqueza económica por el comercio internacional de combustibles fósiles (y recursos naturales en general) no ha compensado los costos ecológicos derivados de dicho comercio, generando una pérdida de riqueza ecológica para el país. Tomando como referencia la participación porcentual de algunos de los principales productos de exportación de Colombia, se puede observar el notable peso que tienen los hidrocarburos y el carbón dentro de la cesta de exportaciones del país (pasando de representar el 80% de las exportaciones tradicionales en el año 2000 a cerca del 90% en 2010), además si se computa las exportaciones de todo el sector minero energético la participación porcentual asciende a cerca del 95%, lo cual da una idea del peso tanto económico como ecológico de estos recursos dentro de la estructura del comercio internacional del país, aún mayor si se considera las exportaciones de biomasa²⁰⁶. La figura 55 aproxima en buena medida esta situación, en primer lugar, el panel superior muestra la tendencia de la dimensión socio ambiental de Colombia y el panel inferior muestra la tendencia en la dimensión económica (en términos de comercio exterior). En la parte superior izquierda se compara el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y el Índice de la Huella Ecológica²⁰⁷ (HE) del *Global Footprint Network* para el 2011 (último año disponible), en este cuadrante se puede observar que Colombia presenta en términos relativos una buena posición tanto del IDH como de la HE, sin embargo, en el cuadrante derecho se observa como el Índice de Biocapacidad²⁰⁸ (IB), ha presentado una disminución sustancial, es decir que la capacidad de la biosfera para regenerarse se ha contraído en más de 8 hectáreas por habitante.

²⁰⁶ El efecto es mayor si se considera las principales categorías de las exportaciones no tradicionales de origen primario (flores, banano, esmeraldas y otros de origen agropecuario) que también son representativas.

²⁰⁷ La huella ecológica se define como el área de la tierra y el agua que se necesita para que una población humana pueda generar los recursos renovables que consume y para absorber los residuos correspondientes que genera, utilizando la tecnología prevaleciente. En otras palabras, mide la "cantidad de la naturaleza" usada y la compara con la "cantidad de naturaleza" que se dispone.

²⁰⁸ La Biocapacidad se define como la capacidad de la biosfera para regenerar y mantener a la vida y permite determinar qué tan grande el metabolismo material de una economía.

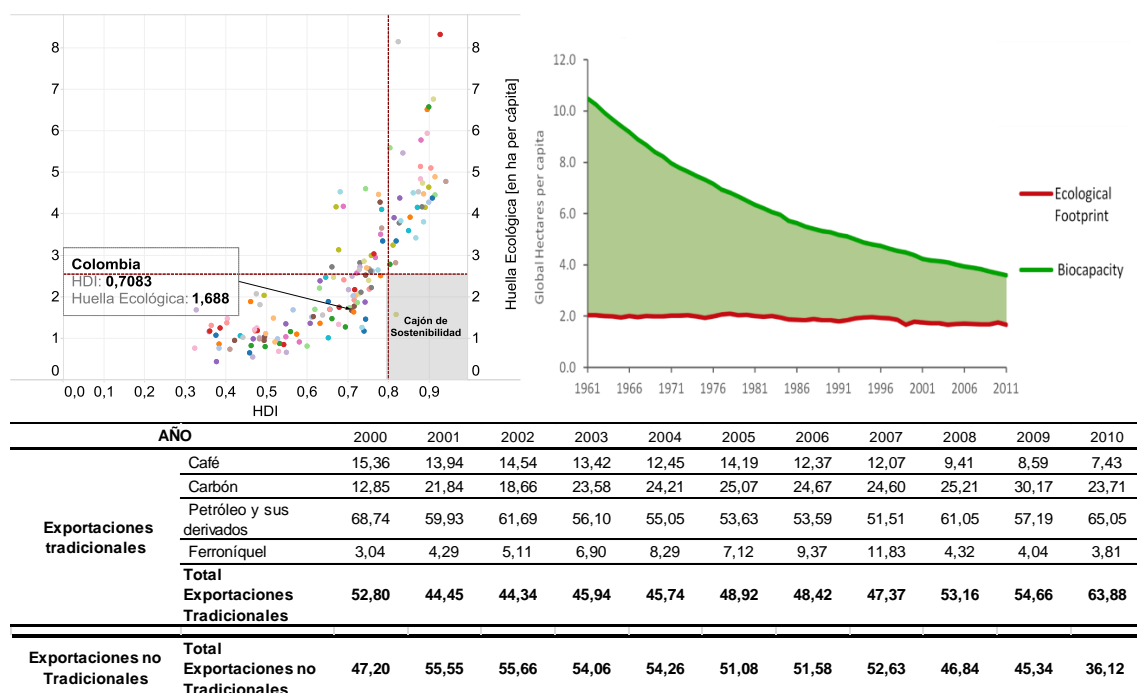


Figura 55. Indicadores de sostenibilidad y exportaciones de Colombia

Nota. Adaptado de Global Footprint Network (2011) y Tamayo y Ramírez (2014).

Lo anterior está estrechamente asociado con los patrones de producción y consumo, así como de las relaciones comerciales con sus socios externos, lo cual esta, estrechamente relacionado con el comportamiento de las exportaciones e importaciones del país especialmente con las exportaciones de combustibles fósiles, de ahí que el panel inferior evidencie el grado de dependencia de estas exportaciones²⁰⁹.

Desde este contexto el análisis de los combustibles fósiles en términos biofísicos se realiza utilizando como herramienta metodológica el Análisis (o Contabilidad) del Flujo de Materiales –AFM–, puesto que esta metodología permite profundizar en el análisis los flujos físicos que entran en el proceso económico (producción y consumo) y son devueltos al medio ambiente en forma degradada (residuos), de manera que permite detallar las interrelaciones entre la economía y el medio ambiente, así como el grado de presión del primer sobre el segundo. De esta forma se analiza el comportamiento metabólico de la economía colombiana en general y de los combustibles fósiles en particular²¹⁰, para un período de tiempo de 32 años (1980-2011). Entre los aspectos metodológicos se destaca que la base de datos utilizada para este apartado

²⁰⁹ Para un análisis detallado de la evolución del Índice de la Huella Ecológica y el Índice de Biocapacidad se puede consultar el documento “Colombia Sostenible” de WorldBank (2010)

²¹⁰ El referente teórico, así como del desarrollo metodológico se presentaron en los ítems 1.2.2., y 1.2.2.1. además se siguen los lineamientos del documento técnico “Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide” de Eurostat (2001).

e “*Global Material Flows Database*” del Sustainable Europe Research Institute (SERI) y la Universidad Vienna University of Economics and Business (WU Vienna)²¹¹, que es la base de datos más representativa a nivel mundial en el registro de las cuentas físicas del AFM. Los datos están agrupados en cuatro categorías de materiales: Biomasa, Combustibles Fósiles, Minerales, y Minerales Industriales y de Construcción²¹². El siguiente cuadro resume los tipos de materiales incluidos en el análisis, así como la cantidad de parámetros por categoría y subcategoría (cuadro 35). Además el análisis se realiza a nivel agregado (nacional) debido que los datos están compilados de esta manera, y no existen fuentes de información que recopilen la información de todas las cuentas del AFM para todo los departamentos del país.

Cuadro 35. Categorías de materiales vinculadas en el análisis AFM

Categoría	Subcategoría	No. de parámetros incluidos	Fuente
Biomasa	Biomasa animal	3	SERI
	Biomasa de pastoreo	2	SERI
	Biomasa de alimento	67	SERI
	Biomasa forestal	2	SERI
	Otra biomasa	3	SERI
Combustibles fósiles	petróleo	1	SERI
	Gas natural	1	SERI
	Carbón	1	SERI
	Gas licuado de petróleo	1	SERI
Minerales	Minerales metálicos	8	SERI
Minerales Industriales y de Construcción	Minerales industriales	15	SERI
	Los minerales de construcción	2	SERI

Nota. Elaborado por el Autor.

Siguiendo la metodología del AFM, se establecieron los saldos físicos de materiales extraídos (extracción doméstica de materiales -ED-) tanto usados (EDU) como no usados (EDNU), los primeros reflejan el grado de dependencia de la economía sobre los recursos para soportar la base material del proceso económico, mientras que los segundos, reflejan la presión por pérdida o no aprovechamiento; la suma de los dos EDU + EDNU da cuenta del grado de presión al que están expuestos los recursos naturales (materiales) por la actividad económica. En segundo lugar se calculó a partir de las cuentas de extracción doméstica de materiales los indicadores del AFM, tanto de inputs como de outputs, es decir, el input domestico de materiales (IDM), el consumo doméstico de materiales (CDM), los requerimientos o

²¹¹ En cooperación con el Institute for Energy and Environmental Research (IFEU). Disponible en <http://www.materialflows.net/home>.

²¹² En total se utilizaron 105 parámetros y 4008 observaciones.

necesidades totales de materiales (RTM o NTM) que representan los indicadores de estado y presión dentro del flujo de materiales, también se calcularon las medidas asociadas a los Outputs: output material total (OMT), output doméstico total (ODT), y el output doméstico procesado (ODP), completando de esta forma todo los indicadores de entradas y salidas del AFM. Finalmente se asociaron estos indicadores con una medida que representa la actividad económica general: el PIB en términos constantes, obteniendo así los indicadores de productividad (PM) e intensidad (IM) de materiales, que son más ajustados para evaluar la evolución, tendencia y estado tanto de los flujos materiales como de la presión ambiental.

3.1.1. Los flujos físicos en la economía colombiana: tendencias de la extracción de los inputs de materiales

En este apartado se analiza las tendencias de la extracción doméstica de materiales tanto a nivel agregado como para los combustibles fósiles en particular. En primer lugar al analizar la extracción de materiales en unidades físicas (kilotoneladas), se puede observar el peso significativo que tiene la biomasa en conjunto sin embargo, al desagregar por categorías se encuentra que la biomasa de pastoreo, forraje y animales, es la categoría con mayor peso, seguida por los combustibles fósiles, y los de minerales de construcción. El hecho de que la biomasa en conjunto representa la mayor proporción de la extracción de materiales (57% de la extracción acumulada entre 1990 y 2010, no supone en efecto neto mayor sobre el deterioro biofísico del país, como el de la extracción de combustibles fósiles y minerales de construcción, puesto que en este caso se trata de recursos no renovables cuya extracción requiere de la perforación y alteración del subsuelo, con lo cual el impacto neto es mayor debido al significativo deterioro del medio natural. En cuanto a la extracción usada de combustibles fósiles su evolución en el tiempo fue en todo caso importante acumulando un stock de 1.868.873,8 kilotoneladas extraídas entre 1980 y 2010, siendo la categoría con la mayor tasa de crecimiento del período, 7,58% promedio anual, seguido por la extracción usada de minerales metálicos 3,81% promedio anual.

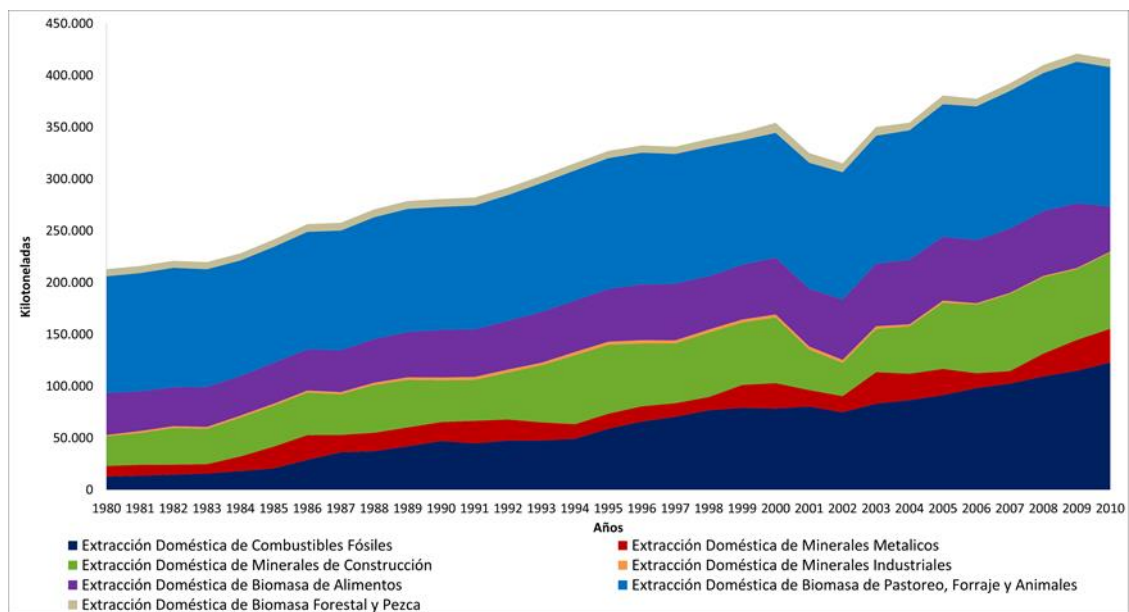


Figura 56. Extracción doméstica usada de materiales por categoría

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015.

Entrando en la categoría puntual de combustibles fósiles la EDU más representativa fue la del carbón seguido por el petróleo y en una posición marginal el gas natural, lo cual está en clara correspondencia con la dinámica de explotación de estos recursos en el país. Por otra parte, si bien la biomasa fue la categoría más representativa en la EDU, en cuanto a la EDNU la tendencia se invierte pasando a ser los combustibles fósiles la principal categoría, esto se debe por a la extracción no utilizada en carbón como se puede observar en la figura 57 (lado inferior derecho).

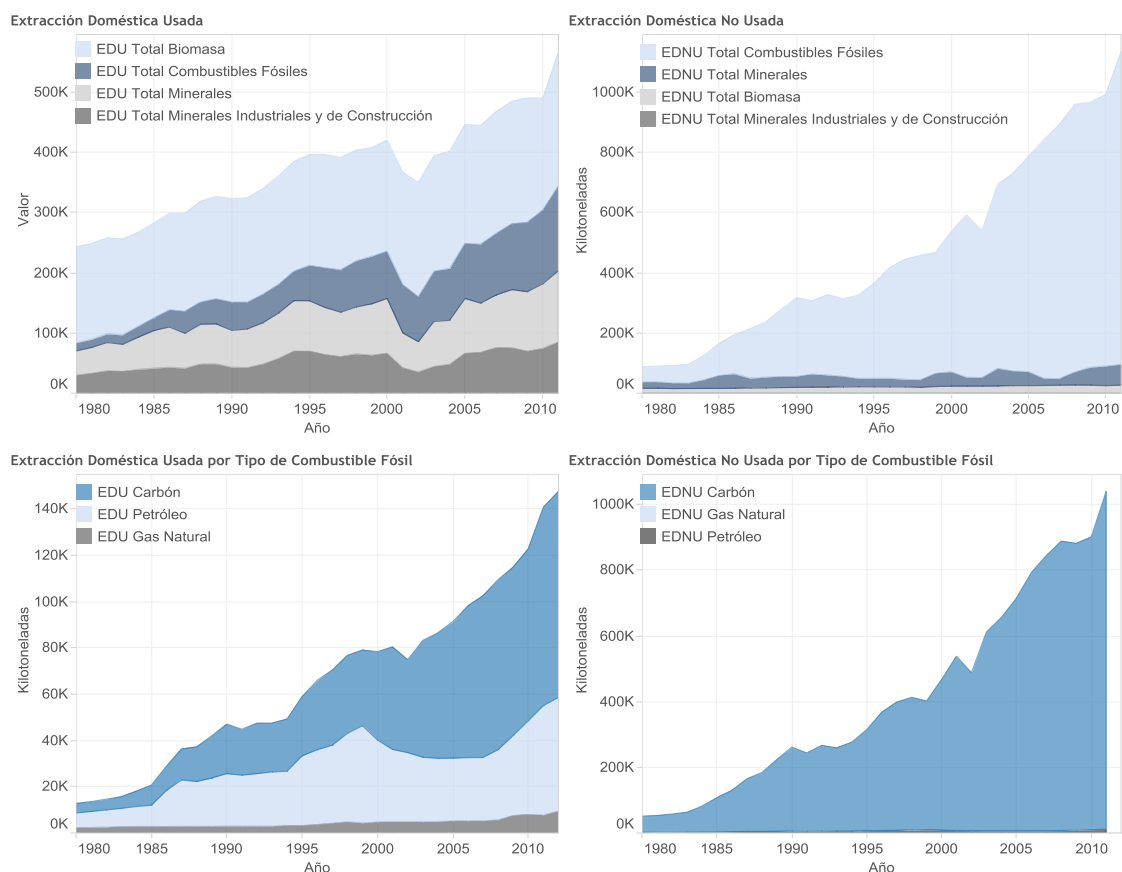


Figura 57. Flujos de extracción doméstica usada y no usada materiales por categoría

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015.

En términos comparativos el carbón fue el recurso con mayor extracción tanto usada como no usada, aunque con una gran diferenciación entre las dos categorías; mientras que la EDU de carbón presentó un acervo de 1.080.501 kt entre 1980 y 2011, en la EDNU el acervo fue de 12.955.206 kt, lo cual evidencia el desaprovechamiento de este recurso, así como el impacto ecológico por la pérdida no utilizada de este recurso, agravado además por la tendencia de crecimiento que expresa los datos (tasa de crecimiento de 9,92% promedio anual).

El precedente que se constata con el análisis de los flujos de EDU y EDNU es el marcado peso de los combustibles fósiles dentro de la extracción total de materiales, si además se adhieren los flujos totales de minerales y minerales industriales y de construcción se evidencia la tendencia de la especialización primario intensiva de la economía colombiana (minero energético), que además está estrechamente vinculado con el patrón primario exportador.

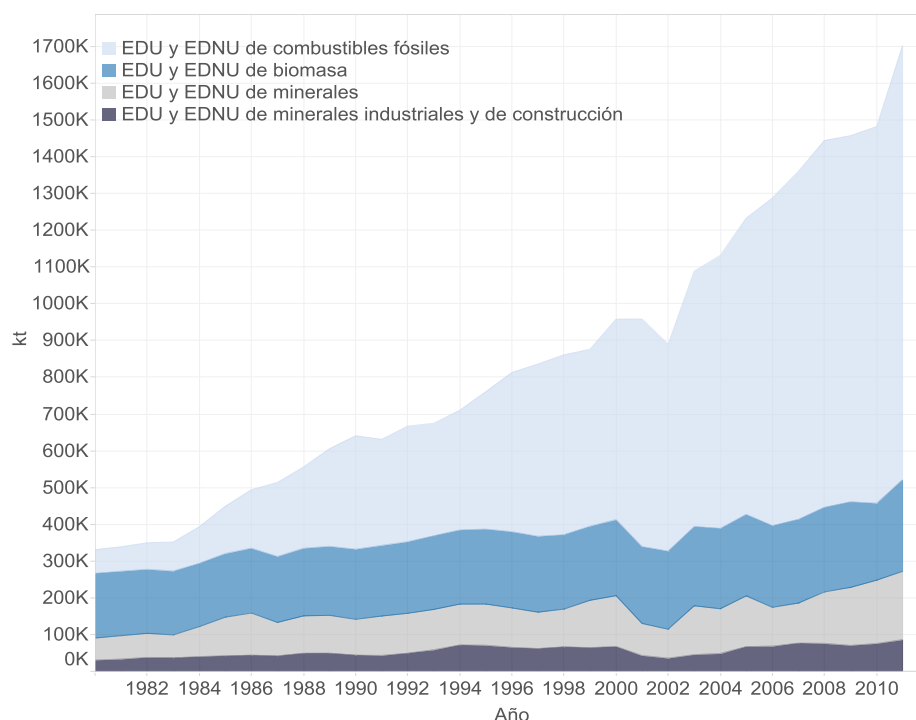


Figura 58. Extracción doméstica de materiales total

Nota. Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015.

La figura 58 deja claro que en al menos las últimas dos décadas la extracción de recursos naturales no renovables se ha intensificado, multiplicando se por 5 entre 1980 y 2011, y una tasa de crecimiento promedio anual de 5,24%, además para el año 2011 el acervo de EDU y EDNU se ubicó en 25.720.793 kt

3.2. RENDIMIENTO METABÓLICO DE LA ECONOMÍA COLOMBIANA

Para este apartado se utilizó como se mencionó antes, los lineamientos del documento técnico “Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide” de Eurostat, para asegurar la rigurosidad en el cálculo de los principales saldos contables de la metodología del AFM (e. g. indicadores de input, output y consumo). Las categorías utilizadas para el análisis fueron: i) la Extracción Nacional Usada y No Usada, tomadas de la base de datos SERI, ii) las exportaciones e importaciones totales²¹³ y de combustibles fósiles, tomadas de los anuarios estadísticos de varias fuentes como el UPME, ANH, DANE, DIAN y ACP, y para la construcción de los indicadores del siguiente apartado se utilizó el PIB en pesos constantes de 2005 tomado de la base de datos WDI del Banco Mundial. Con estas series se realizaron los

²¹³ Se utilizaron factores de conversión en los casos necesarios para expresar los datos en kilotoneladas.

cálculos de los indicadores de *input*, *consumo* y *output* de materiales. El cuadro 33 presenta el detalle de cómo se realizaron los cálculos conforme a la metodología de Eurostat (2001).

Cuadro 36. Base de cálculo para indicadores del AFM

	INDICADOR	BASE DE CÁLCULO
Indicadores del <i>Input</i>	Input Directo de Materiales (IDM)	IDM = Extracción Nacional + Importaciones (Unidades de masa – kt-)
	Requerimiento Total de Materiales (RTM)	RTM = IDM + Extracción Nacional No Usada (Unidades de masa – kt-)
Indicadores de <i>Consumo</i>	Consumo Doméstico de Materiales (CDM)	CDM = IDM – Exportaciones (Unidades de masa – kt-)
	Consumo Total de Materiales (CTM)	CTM = RTM – Exportaciones (Unidades de masa – kt-)
Indicadores del <i>Output</i>	Output Nacional Procesado (ONP)	ONP = ²¹⁴ Emisiones CO ₂ + Pérdidas (Unidades de masa – kt-)
	Output Total de Materiales (OTM)	OTM = ONP + Exportaciones (Unidades de masa – kt-)
Indicadores de <i>eficiencia</i> de materiales	Productividad de Materiales (PM)	PM = PIB _{Constante} / IDM PM = PIB _{Constante} / CDM
	Intensidad de Materiales (IM)	IM = IDM/PIB _{Constante} IM = CDM/PIB _{Constante}
	Balanza Comercial Física (BCF)	BCF = Importaciones – Exportaciones (Cálculo realizado en unidades de masa –kt-)

Fuente: Adaptado de Tamayo y Ramírez (2014).

Los indicadores de eficiencia de materiales se utilizaran en el siguiente apartado, y el análisis de la Balanza Comercial Física (BCF) se desarrolla en el siguiente capítulo.

Como principal característica del análisis se cuenta con dos medidas en cada categoría de indicador del AFM, es decir, que se construyó para cada indicador de input, consumo y output una medida en términos totales y otra ajustada por combustibles fósiles de tal manera que se

²¹⁴ La Emisiones de CO₂ fueron calculadas a partir de la Metodología de Cálculo del IPCC (1996) para el Sector de Energía (energía primaria), cuya hoja de cálculo se elaboró a partir de una hoja de trabajo entregada por el IDEAM. Para el desarrollo del cálculo de estas mismas, y tal como se observará en la metodología de cálculo, que se adjuntan al final de éste documento en el Anexo A, se emplearon los datos de producción, importaciones, exportaciones y cambio en las existencias en unidades de energía (Terajoules -TJ-).

dispone de indicadores de estado tanto a nivel agregado como para la categoría de combustibles fósiles, se realiza esta innovación para diferenciar el efecto de esta categoría e materiales en el análisis del AFM, así como de sus indicadores asociados, de forma tal que se evidencie el peso en términos biofísicos de los combustibles fósiles en la economía colombiana.

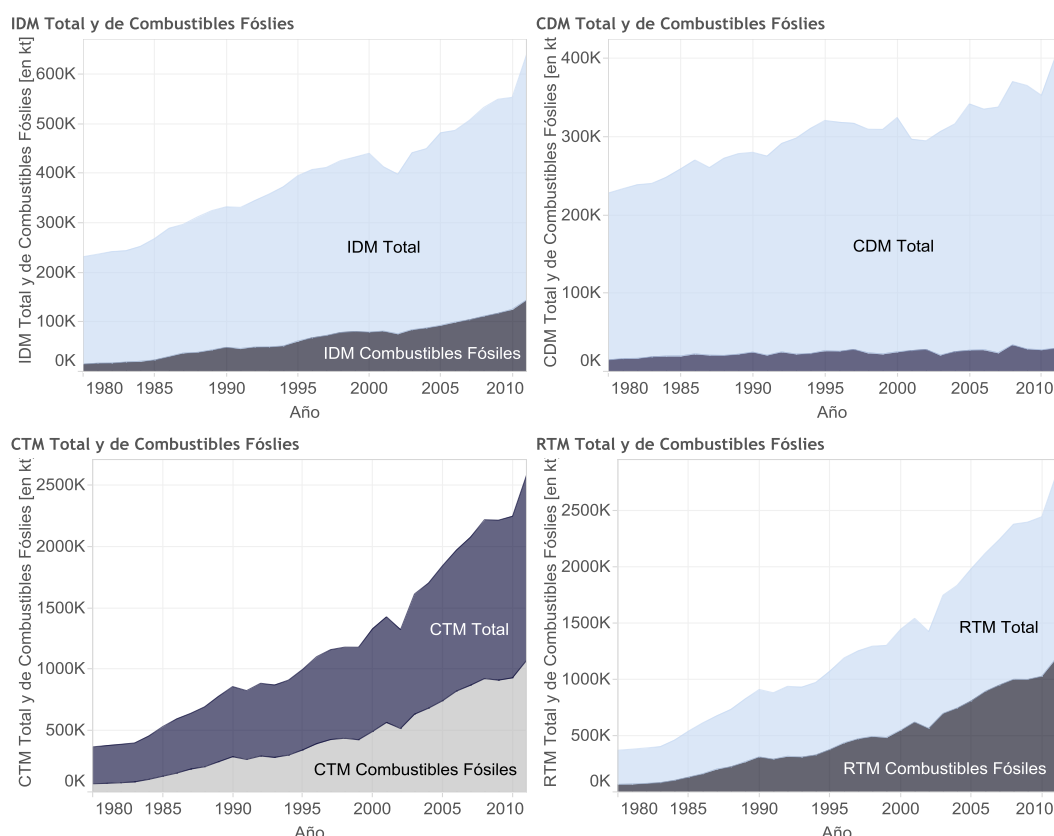


Figura 59. Indicadores de inputs, consumo y Outputs de materiales totales y de combustibles fósiles

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015.

La figura 59 presenta la evolución tanto de los indicadores a nivel total como ajustados por combustibles fósiles, se observa que tanto en el IDM como en el CDM los combustibles fósiles no presentan una participación elevada, esto se debe como se vio en la sección anterior a que el total de la biomasa es la principal fuente de materiales en la extracción doméstica utilizada, sin embargo, en el CTM y los RTM, la participación del CTM y RTM por combustibles fósiles es bastante representativa, dicho de otra forma, la porción de combustibles fósiles que permanece dentro del consumo de recursos representa la principal categoría dentro del CTM y RTM totales, en especial a partir del año 2000 hasta el 2010, representando de media cerca de 50% en los dos indicadores. Estos resultados están en correspondencia con el trabajo realizado por Vallejo et al. (2011), que utilizando otras fuentes de información y horizonte temporal,

también describe de forma similar las tendencias en los indicadores como en la extracción domestica de materiales.

Por su parte, las cuentas de salida (*output*) comprenden el output nacional procesado (ONP) y el Output Total de Materiales; el primero está conformado por las emisiones atmosféricas CO₂ y las pérdidas liberadas al medio ambiente, y el segundo lo compone el ONP y las exportaciones de materiales. Además, en cuanto a los *outputs* se realizó una modificación en la metodología, puesto que la base de datos Global Material Flows del SERI no incluye reportes para esta categoría, además no se dispone de series históricas sobre inventarios de emisiones por categorías similares a las del AFM para el período de referencia, por lo sólo que se decidió utilizar únicamente la información de combustibles fósil para la construcción de estos indicadores puesto que de estos recursos si se dispone de series estadísticas extensas; para reproducir los cálculos se utilizó la información de los balances energéticos nacionales de Colombia para los años 1990 a 2010, incluyendo los datos de producción, exportaciones, importaciones, cambio en las existencias y pérdidas de petróleo, gas natural y carbón²¹⁵, la figura 60 presenta los indicadores calculados.

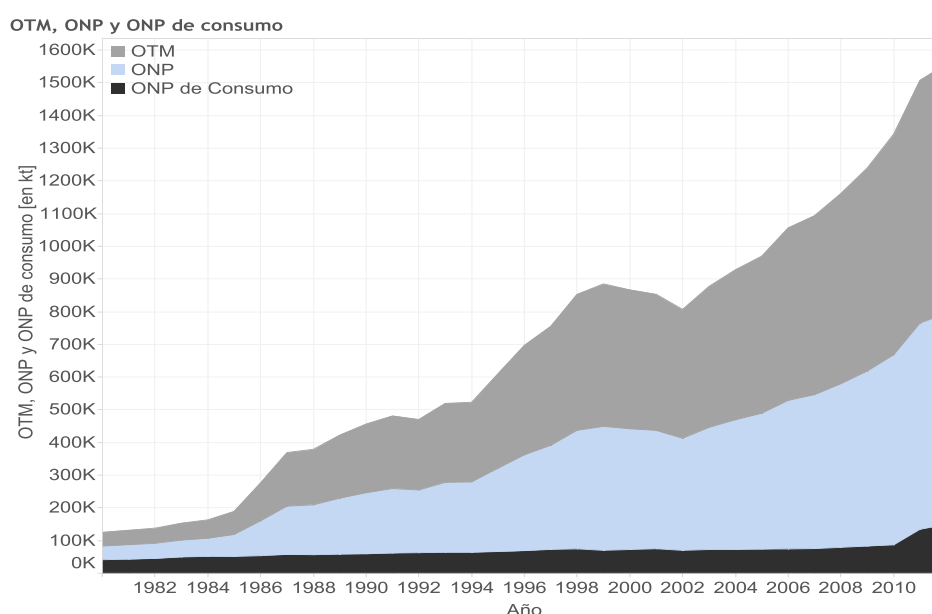


Figura 60. OTM, ONP y ONP de consumo de combustibles fósiles

Nota. Elaborado por el Autor a partir de los balances energéticos nacionales.

La tendencia que exhiben los datos es una medida del grado de presión ambiental al que está expuesta la economía colombiana tanto por las emisiones como por las pérdidas que recibe el

²¹⁵ Las unidades originales de la información están en Terajoules (TJ), por lo que se utilizó la metodología del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) “Directrices para los Inventarios de GEI - Capítulo 4: Emisiones Fugitivas” para realizar los cálculos en kilotoneladas.

medio natural, además este comportamiento contrasta con el exhibido por el índice de biocapacidad (figura 55), dejando ver aún más el deterioro ecológico al que está sometido el espacio biofísico del país. Cabe mencionar que la inclusión de los indicadores de outputs en esta investigación representa un aporte novedoso en los trabajos a nivel de Colombia bajados en el metabolismo socioeconómico, puesto que la literatura en este caso sólo presenta resultados de las cuentas de inputs y consumo (Pérez, 2003, 2006a; Vallejo, 2010).

Por otra parte, retomando los indicadores de *input* se toma como referencia el IDM ajustado por combustibles para presentar un mayor detalle de la evolución de este indicador dada su relevancia como indicador de entrada de materiales a la economía. Como se puede observar en la figura 61, el *input* material ha presentado un progresivo ascenso, registrando para el año 1990 un valor de 47.455 kt mientras que para el año 2010 se ubicó en 123.878 kt, representado de esta manera un incremento anual promedio del 4,68%. En términos de variación, si bien ha tenido fluctuaciones negativas a lo largo del período (1991, 2000 y 2002), se ha mantenido en torno al 5% en promedio a partir del año 2003, este hecho es significativo puesto que esta media para los combustibles fósiles ha crecido a un ritmo incluso mayor que el de la economía en conjunto. Puesto que este indicador está compuesto por la extracción doméstica usada y las importaciones, vale la pena aclarar que dentro de la composición del IDM por combustibles fósiles la principal partida es la EDU, es decir que el origen del nivel y ritmo de crecimiento del indicador proviene mayoritariamente del ámbito interno (extracción), mientras que el ámbito externo (Importaciones) representa una porción marginal; del IDM de combustibles fósiles, las importaciones representan de media un 20%²¹⁶ y el 80%²¹⁷ restante equivale a la extracción nacional de petróleo, gas natural y carbón.

²¹⁶ El porcentaje de importaciones corresponde a importaciones de petróleo solamente, pues hasta el momento el país goza de autosuficiencia en lo que respecta a gas natural y carbón mineral.

²¹⁷ Cabe resaltar que para los últimos tres años el total del IDM es igual a la extracción nacional únicamente, pues, para estos años no se registraron importaciones de combustibles fósiles en el país. Por tanto la extracción nacional representa en este sub-período el 100% del IDM.

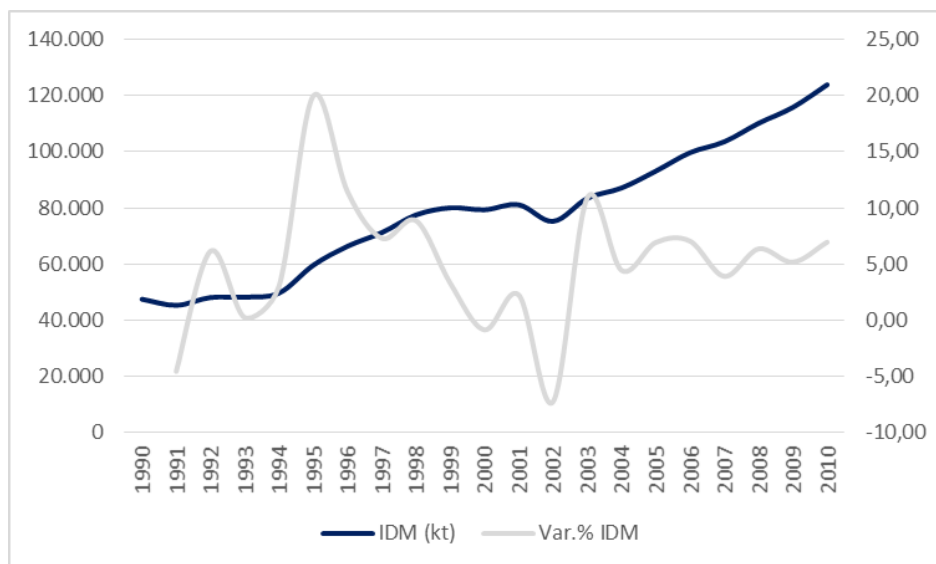


Figura 61. Evolución del IDM de combustibles fósiles y porcentaje de variación

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

Al desagregar la porción del IDM de combustibles fósiles por tipo de material (80% del IDM), si bien la década 1990-1999 estuvo marcada por una bonanza en la producción de petróleo, la década siguiente estuvo marcada por un descenso de la producción petrolera, que sólo volvió a registrar un alza en la exploración, explotación y producción de petróleo hasta finales de decenio. Caso contrario se registró para el sector carbonífero, el cual ha registrado un crecimiento exponencial pasando de 21.472 kt en 1990 a 74.350 kt para el 2010 (representando una tasa de crecimiento anual promedio de 6%), mientras que en el caso de la extracción de gas natural tanto su participación como su crecimiento fueron marginales. Este comportamiento puede verse en la figura 62.

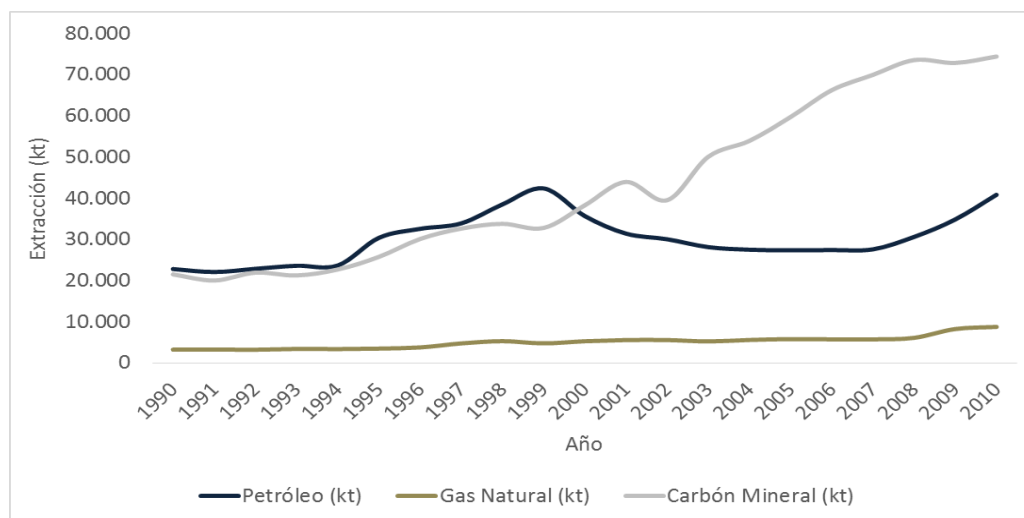


Figura 62. Extracción de combustibles fósiles en kt

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015.

3.3. ANÁLISIS LOS INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD E INTENSIDAD DE MATERIALES CON ÉNFASIS EN LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

En el apartado 3.2 se hizo referencia a las cuentas involucradas en la metodología del AFM, así como de los indicadores derivados de la misma. De la descripción realizada se desprende que las cuentas de entrada (*input*) están representadas por el IDM, la RTM y las importaciones²¹⁸ que entran a la economía nacional, mientras que las cuentas de *consumo* corresponden al CDM y el CTM²¹⁹. Por su parte, las cuentas de salida (*output*) comprenden el ONP conformado por las emisiones atmosféricas y las pérdidas liberadas al medio ambiente además de las exportaciones de materiales realizadas hacia otras economías²²⁰.

No obstante, la conceptualización, cómputo y evolución de dichas cuentas físicas no es suficiente para comprender las diferencias e implicaciones biofísicas de los resultados del AFM. Para este fin se debe ajustar los indicadores del AFM con una medida que relacione los resultados biofísicos con la actividad económica²²¹ (Carpintero & Naredo, 2004) de tal manera que se obtengan indicadores de productividad (PM) e intensidad de materiales (IM). Antes de entrar en el detalle de estos indicadores se expone a continuación un breve resumen las características económicas propias del país en cuanto al sector de combustibles fósiles con el fin de contrastarlas con las características biofísicas que se expondrán posteriormente. Además se detalla el método utilizad.

Como ya se ha mencionado antes la estructura de las exportaciones del país se basa fundamentalmente en productos minero energéticos dada a la abundancia relativa de estos recursos distribuidos en gran parte del territorio nacional (como se observó en el capítulo 2), y

²¹⁸ Las cuentas de *Inputs*, reflejan todas las entradas de materiales (recursos naturales) en unidades físicas, que son extraídas de la naturaleza y se destinan a la producción y el consumo final. Los saldos contables Input Directo de Materiales (IDM) y Requerimiento Total de Materiales (RTM) representan algunos de los indicadores más importantes en los inputs.

²¹⁹ Por su parte, las cuentas de *Consumo* reflejan la cantidad de materiales, en unidades físicas, que efectivamente se usan (consumen) internamente en el sistema económico. Los saldos contables Consumo Doméstico de Materiales (CDM) y Consumo Total de Materiales (CTM), representan algunos de los indicadores más importantes en el consumo.

²²⁰ En este apartado el análisis se realiza para el período 1990. 2010 debido a la falta de información completa para algunos parámetros del Output.

²²¹ Normalmente se utiliza el PIB real, aunque también se pueden relacionar otras medidas como el número de habitantes para reflejar la relación en términos per cápita, entre otras.

a la creciente demanda internacional por estos recursos²²²; prueba de ello es que mientras en 1995 estos productos tenían una representatividad en la balanza comercial del 35,9% para 2010 alcanzó un nivel de 89%, figurando Estados Unidos como principal destino de dichas exportaciones (MCIT, 2010). Cabe destacar que los hidrocarburos y el carbón han registrado los mayores porcentajes de participación, por encima del 75% y 18% de las exportaciones tradicionales para el año 2012, seguidos de productos como el oro (5,6%) y el níquel (1,5%) (MCIT, 2010). En cuanto a las importaciones de combustibles fósiles, estas representan un menor peso, lo que convierte al país en una economía autosuficiente, debido a que suple la demanda interna de petróleo, gas natural y carbón, por lo que en lo referente a recursos minero-energéticos el país es un exportador neto. Esto explica en parte el peso de estos recursos en su canasta exportadora, sin embargo, también demarca la excesiva dependencia externa del país.

Estos resultados más allá de ser favorables económicamente evidencian la dependencia de la base material con relación al comercio exterior, razón por la cual se hace necesario utilizar indicadores compuestos, como los sugeridos por Eurostat (2001), como los indicadores de productividad e intensidad de materiales basados en los *inputs*, puesto que éstos miden los materiales usados y/o movilizados con el objetivo de sostener la actividad económica de un país. Además, al estar más vinculados al modo de producción son más sensibles a cambios en los patrones del comercio exterior. De éste modo los indicadores IDM y/o RTM serán empleados para analizar la eficiencia e intensidad material de la economía colombiana desde la perspectiva de los combustibles fósiles.

Seguido de la distinción señalada en el párrafo anterior, se incluyó en el análisis de la eficiencia e intensidad material de la economía colombiana, los indicadores del consumo de materiales con el fin de comparar el comportamiento a nivel interno de los indicadores, así como evaluar la distancia entre *inputs* y *consumo* de materiales con relación al uso de combustibles fósiles. De éste modo el CDM y/o el RTM, como indicadores de *consumo*, fueron empleados para calcular la PM y la IM, pues, al estar relacionados directamente con el modo de consumo del país, miden los materiales que permanecen físicamente dentro de los límites del territorio nacional.

²²² De igual manera el contexto internacional influye a través de los precios internacionales de los energéticos que incentiva la inversión (IED), producción y exportación.

Para cualquiera de los enfoques expuestos anteriormente, el cálculo de la PM y la IM se realizó utilizando el Producto Interno Bruto real, que en el indicador desde la dimensión socioeconómica más frecuentemente utilizado en la literatura empírica para éste tipo de análisis²²³. Finalmente los indicadores del *output*, fueron elaborados para completar de forma integral el estado del balance de materiales para el período en estudio (*inputs-outputs*), además sirven de base para evaluar las presiones ambientales derivadas de la producción y comercialización del petróleo, gas natural y carbón, ya que a través del ONP se consideran las emisiones de CO₂ y las pérdidas (e. g. fugas en oleoductos, pérdidas de recurso durante su transporte, etc.) liberadas al medio ambiente.

3.3.1. Análisis de los indicadores de productividad de materiales a partir del input directo de materiales IDM y el consumo doméstico de materiales CDM

La figura 63, muestra el comportamiento de la productividad de materiales total y de los combustibles fósiles para los años 1990-2010. El ajuste de la productividad de materiales (PM) utilizando el indicador de IDM por combustibles fósiles se realiza para identificar la cantidad de PIB que se genera por unidad de combustibles fósiles, es decir que refleja que tan productivo es el *input* material de los combustibles fósiles. Para este caso el indicador de PM para combustibles fósiles presente una tendencia descendente a través del tiempo, indicando que una unidad de *input* material de combustibles fósiles genera a través del tiempo una menor unidad de PIB. Para comienzos de los noventa una kilotonelada de combustibles fósiles generaba aproximadamente 5.000 pesos disminuyendo hasta cerca de 3.500 pesos en 2010, esto es llamativo puesto que en los últimos años la producción en todos los combustibles fósiles se ha incrementado a ritmos muy acelerados, lo cual no se corresponde con la tendencia aquí descrita.

²²³ Según los lineamientos de Eurostat (2001), se sugiere usar el PIB a precios constantes, ya que éste al no verse afectado por las variaciones de los precios (inflación), refleja en sus cifras las variaciones de las cantidades producidas (crecimiento material de la economía) y no el aumento en el valor de los bienes y servicios producidos, que es lo que sucede contrariamente con el PIB a precios corrientes.

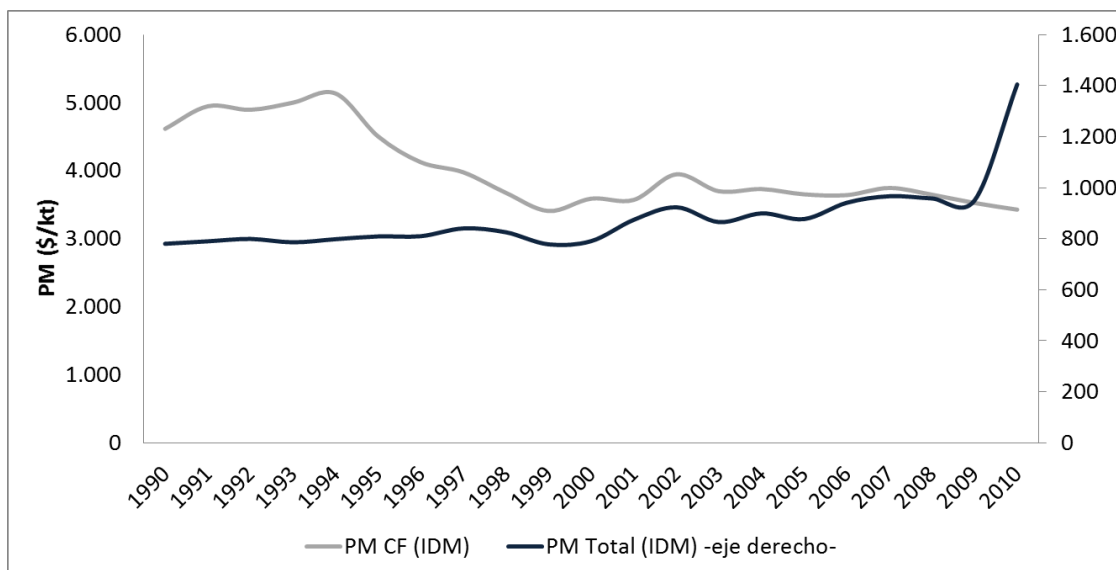


Figura 63. Productividad de Materiales total y de combustibles fósiles basada en el IDM

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

En cuanto a la PM total se evidencia una leve tendencia de crecimiento. En este caso una unidad de *input* generaría una mayor unidad de PIB, aunque está claro que no es el IDM de combustibles fósiles el que genera esta tendencia.

Continuando con el análisis de la PM, se utiliza ahora otra medida de *consumo* en el cálculo: el consumo doméstico de materiales total (CDM) y el consumo doméstico de materiales ajustado por combustibles fósiles (CDM CF), este ajuste permite identificar las unidades de PIB generadas por una unidad de material *consumida* de combustibles fósiles en el proceso económico interno. De acuerdo a esto, la figura 64 muestra el comportamiento de la PM basada en el consumo doméstico total y el consumo doméstico de combustibles fósiles. En ambos casos se evidencia un crecimiento sostenido aunque con ligeras oscilaciones; ésta tendencia de crecimiento resulta ser favorable puesto que por definición, se genera una mayor unidad de PIB por unidad de consumo de material, es decir, que bajo la perspectiva del consumo interno de materiales, Colombia ha sido relativamente productiva en el aprovechamiento y utilización de los combustibles fósiles²²⁴

²²⁴ Sin embargo se debe aclarar que el indicador de referencia en el cómputo de los indicadores de productividad e intensidad de materiales es el IDM que incluye todos los flujos tanto internos como externos.

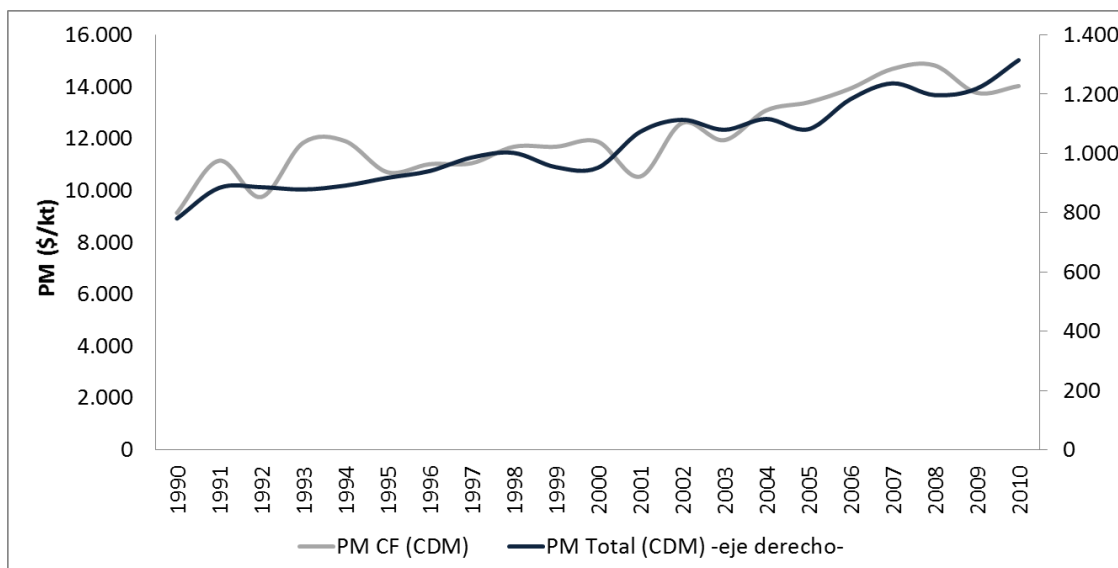


Figura 64. Productividad de Materiales total y de combustibles fósiles basada en el CDM

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

Este panorama es reflejo de una baja tendencia en el consumo de combustibles fósiles, pues aunque el CDM en esta categoría haya aumentado paulatinamente durante el periodo, su tasa de crecimiento promedio ha sido mínima (1,1%), prueba de ello se ve en que el CDM de combustibles fósiles ha pasado de 23.980 kt en el año 1990 a 30.265 kt en el año 2010, este comportamiento es contrario al del IDM de combustibles fósiles que en el mismo período cuadruplicó la tasa de crecimiento promedio anual (4,6%).

3.3.2. Análisis de los indicadores de intensidad de materiales a partir del input directo de materiales IDM y el consumo doméstico de materiales CDM

Al igual que en el apartado anterior los indicadores del AFM asociados a los *inputs* y *consumo* puede ser relacionados con la dimensión socioeconómica vinculando el PIB como se refirió antes, con la diferencia que en el cálculo las magnitudes se intercambian, de manera tal que se llega a un indicador de intensidad de materiales (IM) que mide la eficiencia con la que la economía gestiona sus recursos, es decir, que mide la capacidad que tienen un país para generar ingresos con el uso de una menor cantidad de input material. De acuerdo a éste principio, el comportamiento deseado de la IM para un horizonte temporal determinado, debería ser descendiente, ya que esto indicaría que dentro del sistema económico se están usando menos flujos de materiales para sostener la actividad económica. Del mismo modo, en

este apartado también se construye los indicadores de la IM a partir del IDM total y de combustibles fósiles, así como de los indicadores del CDM total y de combustibles fósiles

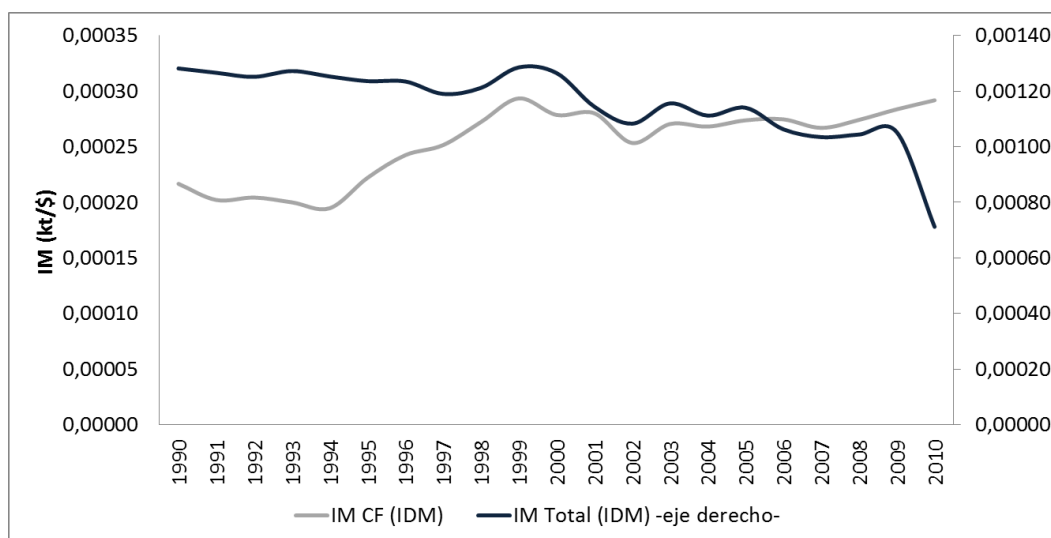


Figura 65. Intensidad de Materiales total y de combustibles fósiles basada en el IDM

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

La figura 65, muestra el comportamiento de la IM total y ajustada por combustibles fósiles para la economía colombiana, se puede observar que el indicador valorado desde el IDM total presenta una leve reducción entre 1990 y 2009, la cual se profundiza en 2010, este comportamiento indica que por cada unidad de PIB se genera una menor cantidad de IDM, sugiriendo de esta manera una leve tendencia de desmaterialización de la economía (la tasa de crecimiento promedio anual para este período fue negativa -2,76%), sin embargo, en el caso del indicador IM ajustado por el IDM de combustibles fósiles la tendencia se invierte, es decir, que cada unidad de PIB genera una mayor cantidad de IDM de combustibles fósiles, en especial en el período 1990-1999, debido al rápido crecimiento de la producción de todos los combustibles fósiles en este período, mientras que en la última década se ha mantenido aproximadamente estable, a pesar que dentro de los combustibles fósiles la producción de petróleo se contrajo fuertemente entre el 2000 y el 2007. Este comportamiento presenta evidencia a favor de la hipótesis de una rematerialización de la economía en lo referente a estos recursos energéticos (la tasa de crecimiento promedio anual para fue de 1,43%, alcanzando el nivel más alto en 2010 con 0,0002918 kt/\$).

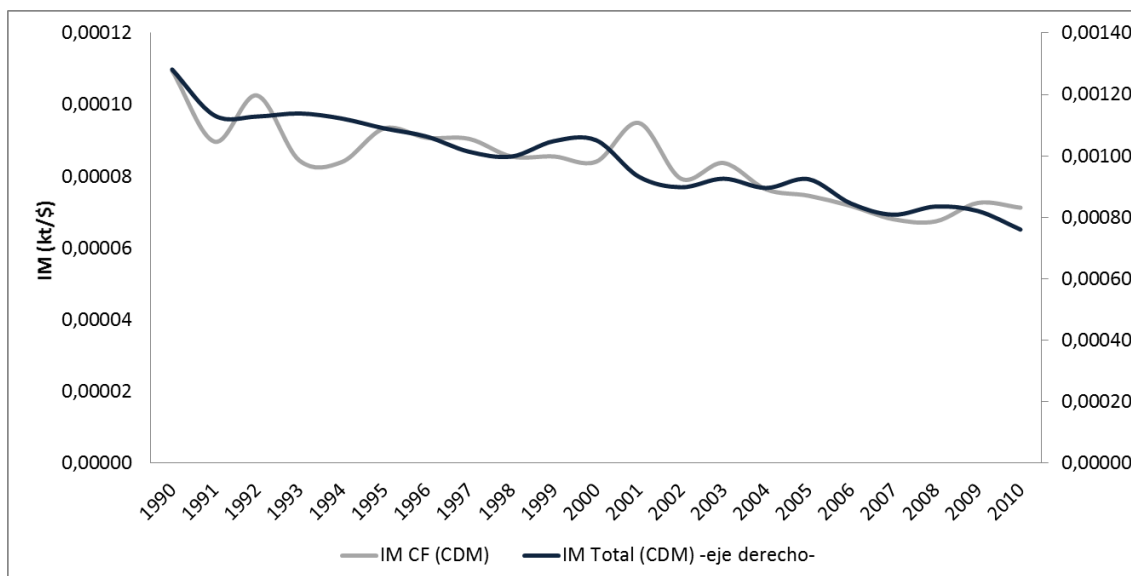


Figura 66. Intensidad de Materiales total y de combustibles fósiles basada en el CDM

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

En cuanto al comportamiento de la IM total y ajustada por combustibles fósiles calculada a partir del CDM (figura 66), las dos series siguen la misma trayectoria descendente, es decir que en ambos casos una unidad de PIB genera una menor cantidad de CDM, sin embargo, no es tan claro deducir de aquí que se presenta una tendencia de desmaterialización debido a que el CDM captura información sobre la dinámica interna de la economía, y como se ha mencionado varias veces Colombia es un exportador neto de recursos minero energéticos, por lo que la ausencia del cómputo de las exportaciones en el CDM no registra toda la dinámica de los combustibles fósiles; estos indicadores estaría reflejando que al interior de la economía los combustibles fósiles representan en el tiempo una menor proporción dentro del CMD, lo mismo sucede con el CDM total.

Los resultados de este numeral y de anterior en términos totales fueron contrastado con la revisión de la literatura empírica a nivel internacional encontrando un patrón semejante descrito para los países en desarrollo o primario-intensivos, en especial en lo referente a las relaciones comerciales Norte-Sur (Behrens et al., 2007; Bringezu et al., 2004; Bruckner, Giljum, Lutz, & Wiebe, 2012; Dittrich & Bringezu, 2010; Dittrich et al., 2012; J & Hubacek, 2008; Muñoz et al., 2011; Muradian & Martinez-Alier, 2001; Russi et al., 2008; West & Schandl, 2013).

3.3.3. Relación entre los indicadores de IDM, CDM y los indicadores de output en combustibles fósiles

En cuanto al flujo de outputs la tendencia en la generación y liberación de emisiones derivadas del consumo de los combustibles fósiles es llamativa dada su tendencia, niveles de emisiones y tasas de crecimiento, que *a priori* no presentan indicios de revertir su comportamiento. Las emisiones de CO₂ liberadas al medio ambiente superan en gran cantidad a la porción de materiales que son consumidos a nivel nacional (expresado en kilotoneladas); como se analizara a continuación las tendencias de crecimiento en los indicadores de input y consumo, en suma con los indicadores de output para los combustibles fósiles, presentan una doble presión a la que está expuesto el país en términos biofísicos por estos recursos, puesto que de un lado se deteriora el equilibrio ecológico con la extracción y agotamiento de sus recursos, y la alteración del territorio, y de otro lado se incrementan los impactos ambientales derivado de los contaminantes esparcidos en el territorio (entropía).

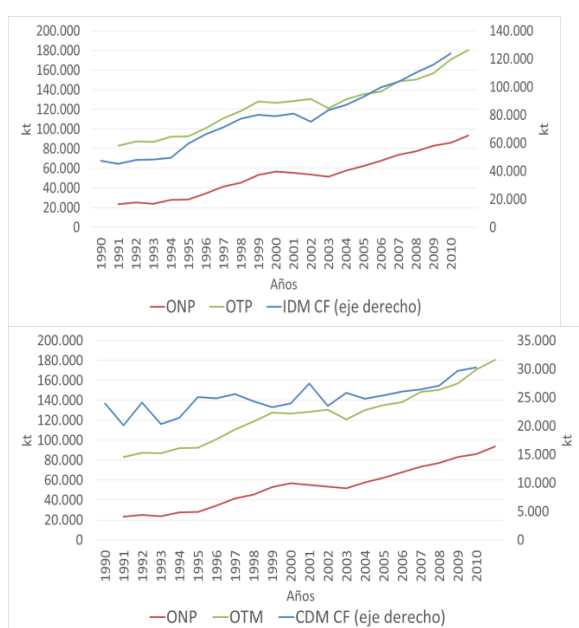


Figura 67. Indicadores de IDM, CDM e indicadores de Output

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015, y los balances energéticos nacionales. Cálculos propios.

La figura 67 presenta la evolución de los indicadores IDM, CDM, OTP y ONP ajustado por los combustibles fósiles. En primer lugar se observa que las kilotoneladas de outputs disipadas en el espacio ambiental del país (emisiones y pérdidas) duplican los inputs de combustibles fósiles que representan los flujos extraídos de medio natural y que entran al sistema económico (lado izquierdo de la figura), además también se visualiza una clara tendencia de

crecimiento en todos los indicadores, en segundo lugar, el CDM si bien presenta una leve tendencia de crecimiento, su nivel es considerable (cerca de 28.000 kt en promedio), asimismo el indicador de ONP duplica en términos de kilotoneladas al CDM. Todo esto indica que en materia de outputs (emisiones) no hay evidencia a favor de un desacoplamiento de impactos ambientales, así como tampoco la hay a favor de una desmaterialización de la economía colombiana.

Finalmente, como derivación de los análisis expuestos anteriormente, se puede concluir de forma preliminar que para el período de referencia, Colombia no ha avanzado en ninguno de los dos aspectos clave del desacoplamiento, que son el desacoplamiento de recursos (e.g. aumento de la actividad económica con menores tasas en el uso de recursos) y el desacoplamiento de impactos ambientales (e.g. aumento en la actividad económica reduciendo el impacto ambiental derivado del uso de recursos).

3.3.4. Distancia entre el input y el consumo de materiales

La determinación de la distancia entre el *input* y el *consumo* de materiales contribuye a explicar la dinámica del comportamiento que presentan los materiales que ingresan al proceso económico del país, además permiten identificar el peso que tiene el comercio exterior dentro para la economía colombiana²²⁵. Este parámetro se evaluó a través de la IM calculada a partir del IDM y el CDM (total y ajustado por combustibles fósiles); para el desarrollo de éste análisis se construyeron los indicadores de IM (IM_{IDM} y IM_{CNM})²²⁶ en forma de índices base 1990, con el fin de evaluar la evolución de los indicadores en el período de estudio, así como la proporción que representa el *input* respecto al *consumo* de materiales.

la figura 68, evidencia que tanto a nivel total como para el caso particular de los combustibles fósiles el comportamiento de la IM basada en el IDM representa una proporción mayor que el indicador construido a partir del CDM, lo cual indica la proporción en la que el *input* de materiales ha estado excediendo al *consumo* de materiales, además en el caso particular de los indicadores para los combustibles fósiles se denota una clara tendencia ascendente de la

²²⁵ Se presenta esta relación como una primera aproximación a impacto que tiene el comercio internacional para el país. Esta temática será abordada con mayor detalle en el siguiente capítulo.

²²⁶ Intensidad de Materiales (IM) calculada a partir del IDM y el CNM, de éste modo se tienen dos valores para el indicador.

proporción en la que el *input* sobrepasa al *consumo* representando en promedio cerca del 60%, llevando a exceder en más del 100% en 2010.

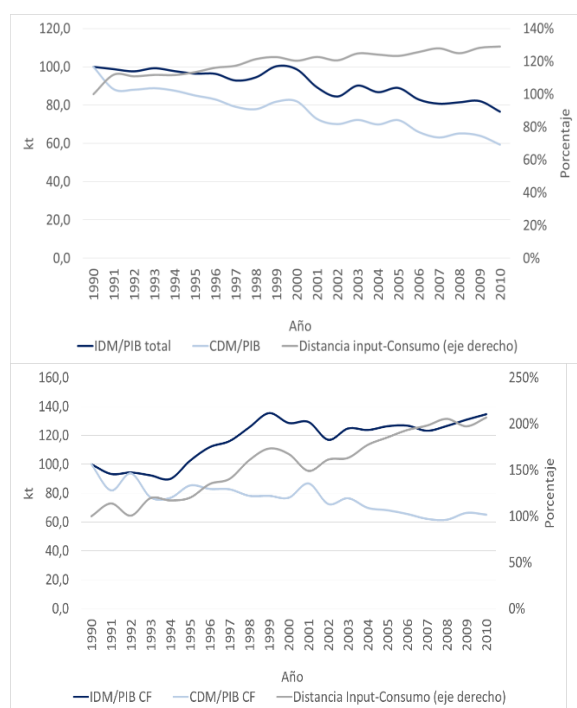


Figura 68. Distancia Input-Consumo

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

A partir de la evolución de los indicadores se puede extraer como conjetura que el país ha sido ineficiente en términos biofísicos, en especial en los combustibles fósiles debido a su posición como exportador neto de recursos energéticos; las exportaciones de combustibles fósiles²²⁷ representaron de media el 68% de la extracción doméstica usada (en kt). Esto permite observar el papel relevante del comercio internacional para el país en lo relacionado a la dimensión biofísica de los recursos naturales energéticos. No obstante, se ha dividido el análisis para tratar en otro capítulo el aspecto del comercio internación de los combustibles fósiles (Balanza Comercial Física -BCF-) dado la relevancia de esta temática.

²²⁷ Contemplando específicamente las exportaciones de petróleo y carbón, puesto que el natural sólo ha presentado exportaciones marginales entre los años 2008 a 2010.

CAPÍTULO CUARTO

4. ANALISIS DE LA DINÁMICA DE LA BALANZA MONETARIA Y BIOFÍSICA (DE RECURSOS NATURALES ENERGÉTICOS) DEL COMERCIO INTERNACIONAL COLOMBIANO

«A veces uno oye hablar de una sociedad «postindustrial» que utilizará menos materiales porque la economía consistirá en menos industria y más servicios. La idea no tiene en cuenta hasta dónde los servicios dependen de la base material y de los materiales traídos de todo el mundo».

Dennis y Donnella Meadows, J. Randers, 1992

Como análisis adicional y complementario al realizado en el capítulo 3 se procede en este capítulo a profundizar en el perfil metabólico de Colombia desde la dimensión del comercio internacional. Las herramientas analíticas utilizadas corresponden a la Balanza Comercial Física (BCF) y la relación de los términos de intercambio, con el fin de identificar la posición biofísica del país en las relaciones comerciales con el resto del mundo. De esta manera se obtiene una visión conjunta del metabolismo socioeconómico y las tendencias en desmaterialización y desacoplamiento. Sobre este punto existe un consenso dentro del debate del desarrollo sostenible indicando que las interrelaciones económicas, sociales y ambientales entre los países hacen parte integral del concepto de sostenibilidad, por lo que la distribución equitativa, tanto del uso de los recursos naturales como de los costos ambientales derivados de su explotación y consumo deben ser analizados dentro del marco de la sostenibilidad.

4.1. IMPORTANCIA DEL COMERCIO EXTERIOR Y SU IMPACTO EN TÉRMINOS FÍSICOS

Antes de iniciar el análisis cabe mencionar que la Balanza Comercial Física (BCF) se define como la diferencia entre importaciones y exportaciones físicas²²⁸ y permite medir el déficit o

²²⁸ Este diferencial es importante resaltarlos, puesto que, en términos económicos la balanza comercial se define como exportaciones menos importaciones. Al modificar la resta en el BCF se pretende

superávit de los materiales que se mueven a través de los límites de la economía nacional (Carpintero, 2005; Carpintero & Naredo, 2004; Eurostat, 2001), es decir, se determina si se exportan más materiales de los que se importan. De esta manera se visualiza en qué medida los patrones de consumo externo añaden presiones ambientales sobre el territorio nacional. Como ya me mencionó en el capítulo 2 el comercio exterior del país tuvo un rápido ascenso desde mediados de la década de los ochenta presentando períodos alternados de superávit o déficit en la balanza comercial, aunque en los últimos años el superávit en esta balanza ha crecido de forma extraordinaria basada en el amplio excedente de las exportaciones de combustibles fósiles, sin embargo, este comportamiento monetario requiere ser contrastado con el comportamiento físico de las mismas cuentas.

Para este caso se utiliza las exportaciones, importaciones y balanza comercial en términos físicos (kilotoneladas), tanto a nivel total como para los combustibles fósiles. La figura 69, presenta la evolución de las exportaciones e importaciones físicas del país entre 1980 y 2012, el panel superior de la figura revela el predominio de las exportaciones de combustibles fósiles, que sumadas a las exportaciones de minerales metálicos, y minerales industriales y de construcción, representan en promedio más de 95% de la exportaciones biofísicas del país. Como se ha dicho antes, esta tendencia es especialmente llamativa puesto que se requiere de la extracción del subsuelo de estos recursos lo cual multiplica los efectos ambientales, además contrasta con la tendencia de las exportaciones en valor monetario; conforme a los datos estadísticos del Banco Mundial, las exportaciones primarias (monetarias) representar en promedio el 78% de las exportaciones totales, mientras que las exportaciones industriales sólo corresponden al 22%.

evidenciar el superávit o déficit físico (cantidad neta de materiales que salen o entran respectivamente en el país).

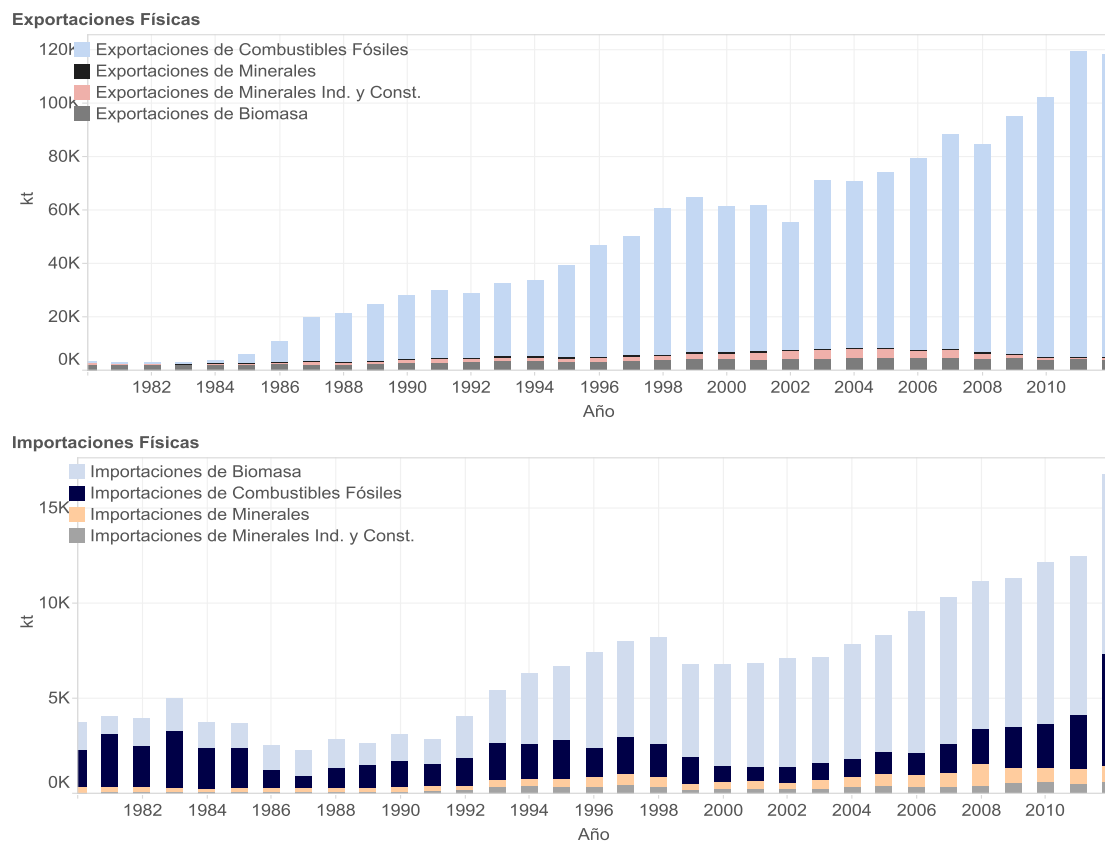


Figura 69. Exportaciones e importaciones físicas de Colombia

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

En el caso de las importaciones el peso se concentra en la biomasa que ha presentado además, una elevada tendencia de crecimiento desde comienzos de la década de los noventa. Entrando en el detalle de las exportaciones e importaciones por tipo de combustible fósil, la figura 70 evidencia la evolución de las exportaciones e importaciones físicas de petróleo, gas natural y carbón. Se destaca que el carbón ha sido el recurso de mayor exportación basado en el alto dinamismo de los proyectos carboníferos de la zona norte del país (Departamentos del Cesar y La Guajira) donde se concentra la minería a gran escala. Estas exportaciones pasaron de representar 13.505 kt en 1990 a 68.148 kt en el 2010, registrando una tasa de crecimiento anual promedio de 8% y una participación promedio del 69% para el total de las exportaciones de combustibles fósiles.

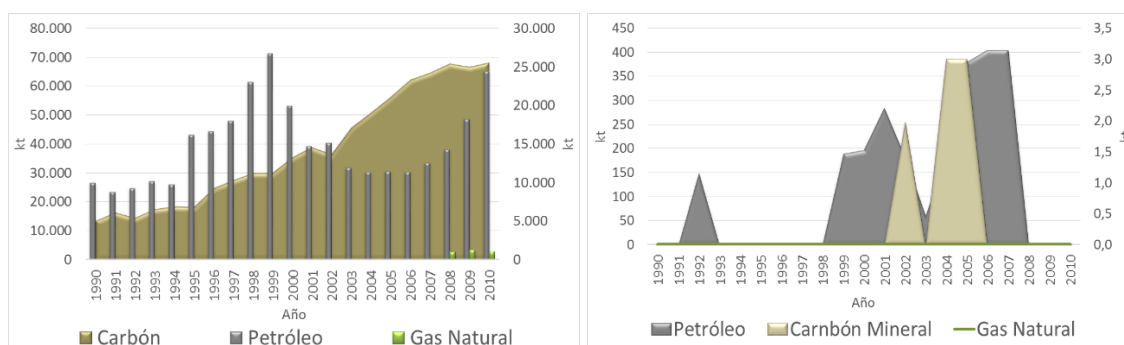


Figura 70. Exportaciones e importaciones de combustibles fósiles

Nota. Elaborado por el Autor a partir los balances energéticos nacionales. Cálculos propios.

Otro aspecto significativo en las exportaciones es el generado por el sector petrolero, que aunque registró un periodo de baja actividad en los volúmenes de exportaciones entre los años 2000 a 2005, presentó a partir de 2007, un mayor aporte a la composición de las exportaciones nacionales de los recursos primario energéticos, pasando de 9.970 kt a 24.418 kt entre 1990 y 2010, representando de éste modo un crecimiento anual promedio de 4,36% y una participación del 31% en el conjunto de las exportaciones de combustibles fósiles. Por su parte, el gas natural no tuvo una participación significativa en la composición de las exportaciones puesto que estas iniciaron apenas en 2007 y su peso en términos de kilotoneladas es marginal 1.046 kt en 2010, representó tan sólo un 0,43% del total de las exportaciones de combustibles fósiles.

Por otra parte, el panel derecho de la figura 70 muestra el comportamiento de las importaciones que están compuestas básicamente por las exportaciones de petróleo seguidas del carbón aunque marginales en cuanto al volumen importado, así como en las fluctuaciones presentadas; se han incrementado en aquellos años en que el consumo interno a presionado las importaciones para la refinación (e.g. gasolina, ACPM, fuel oil, queroseno, entre otros) (UPME, 2013).

4.1.1. El proceso de la inserción en la economía mundial: patrones de comercio exterior

Una vez analizadas las tendencias de comportamiento de las exportaciones y las importaciones tanto totales como de los combustibles fósiles, se presenta a continuación los resultados obtenidos en la BCF, la cual permite identificar con facilidad los patrones de inserción y dependencia del comercio internacional (Dai & Chen, 2010; Fischer-Kowalski & Huttler, 1998; Fischer-Kowalski et al., 2011; Martinez-Alier et al., 2010; Pérez, 2003; Schaffartzik et al., 2014;

Schandl et al., 2002). En este punto los rasgos característicos del comercio internacional de Colombia se corresponden con la tendencia metabólica de países altamente dependientes, como lo exponen Autores tales como Martínez-Alier (2006), Naredo (2004a), Pérez (2003) Russi et al., (2008). A pesar de que colombiana sea un país pequeño en la economía mundial y que hasta hacen dos décadas haya sido poco abierta, sus relaciones comerciales con el resto del mundo han sido relevantes para definir sus rasgos estructurales (Pérez, 2003).

El comportamiento de la Balanza Comercial Biofísica (figura 71) presenta un rasgo negativo desde mediados de la década de los ochenta, coincidiendo con el período en el que se estaba afianzando el modelo económico de promoción de exportaciones. A partir de esta tendencia se puede afirmar categóricamente que el país es dependiente de sus recursos energéticos, además su BCF no sólo es deficitaria sino que presenta un extraordinario ritmo de crecimiento de este déficit, soportado prácticamente en su totalidad por los combustibles fósiles, acumulando un déficit comercial equivalente 1.119.467 kt en todo el período, en otras palabras la cantidad de materiales que han salido de la economía colombiana ha representado en promedio una salida anual de 53.307 kt, de las cuales la proporción de combustibles fósiles es superior al 85%.

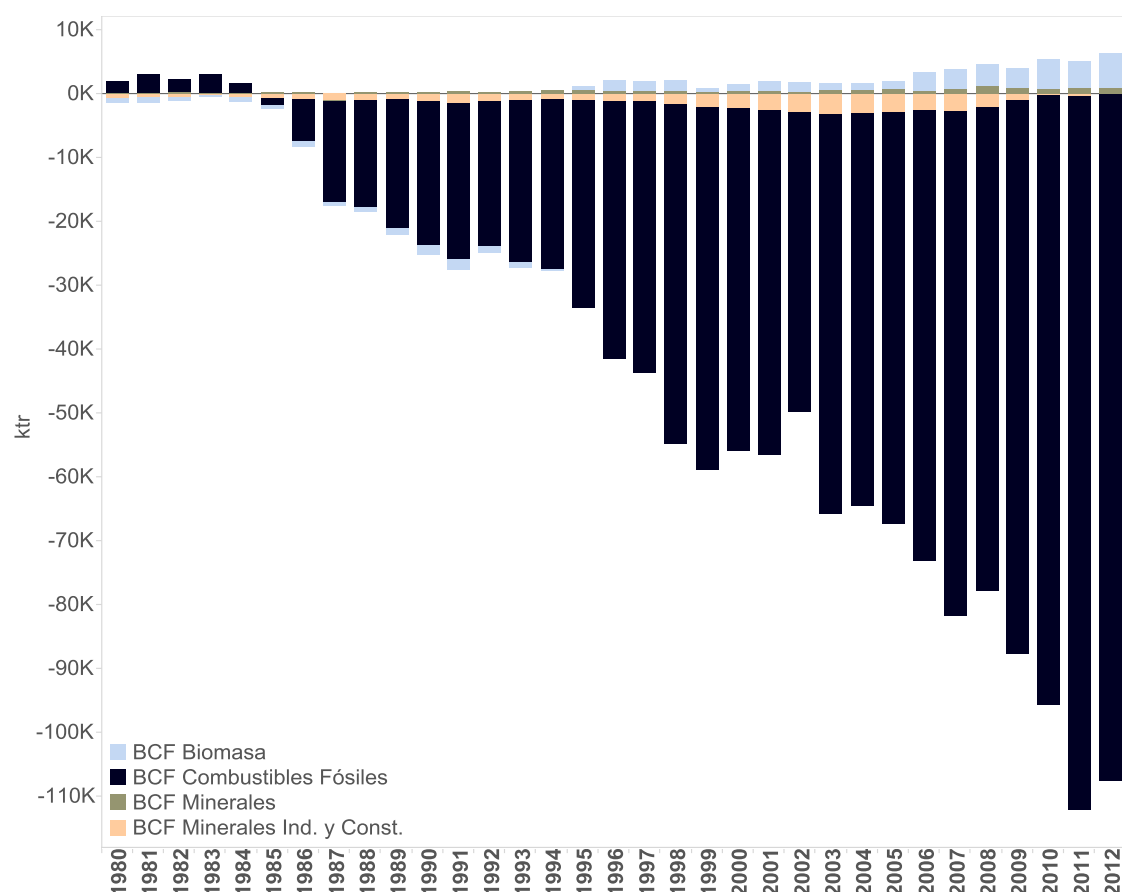


Figura 71. Balanza comercial biofísica de Colombia

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

Desagregando la tendencia general de la BCF en cada sub balanza por categoría de material se aprecia con mayor detalle los patrones de comercio exterior (figura 72). En este aspecto la balanza de la biomasa presenta un comportamiento positivo desde 1995, es decir que la cantidad de biomasa externa que recibe el país es superior a la exportada, con lo cual estos materiales (renovables) no se someten a presiones ambientales por causa del comercio internacional los recursos; el saldo negativo de los primeros años de la serie se deben al peso de las exportaciones primarias en ese período, representadas principalmente por las exportaciones de café, tabaco, bananos y flores entre otros. La otra balanza que presentó superávit fue la de minerales metálicos (minerales de hierro, aluminio, cobre, oro, níquel, platino, plata, y zinc). Sin embargo su participación en la BCF total es marginal.

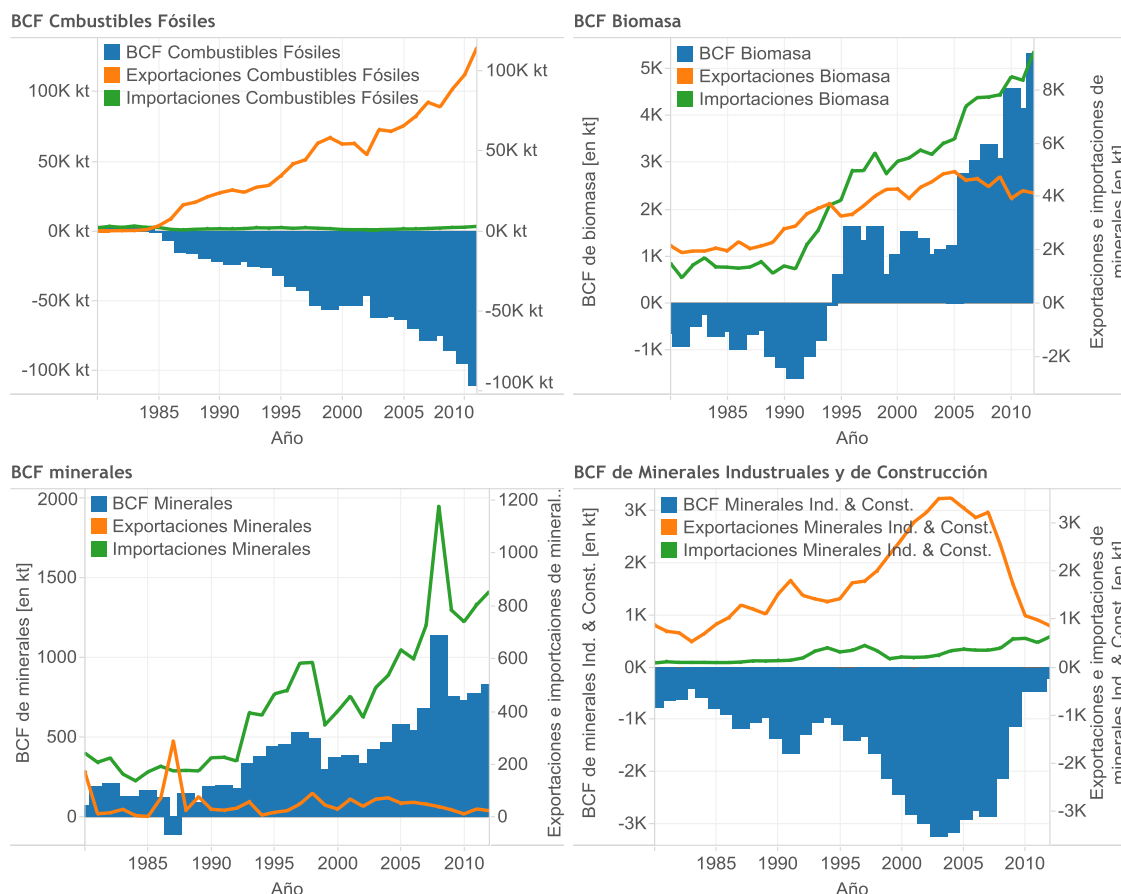


Figura 72. Balanza comercial biofísica por cada categoría de material para Colombia

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

La balanza de minerales industriales y de construcción, aunque también representa una porción baja en el total de la BCF, presentó un marcado déficit entre los años 1997 y 2005. No obstante, esta tendencia revirtió en los años posteriores, este comportamiento fue impulsado por la demanda externa de los países emergentes que presentaron en este periodo de tiempo altos requerimientos de este tipo de minerales para sus procesos de expansión industrial y de construcción.

4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS TÉRMINOS DE INTERCAMBIO. DIVERGENCIA ENTRE LA ECONOMÍA Y LA ECOLOGÍA

El déficit comercial biofísico que se ha señalado anteriormente ha presentado un crecimiento sostenido a lo largo del periodo en estudio, señalando así que Colombia sigue un modelo económico basado en la extracción y exportación de recursos naturales. Siguiendo la línea argumental de Pérez (2006a) esta situación propicia el desarrollo de relaciones comerciales

asimétricas debido a que el valor los bienes primario-intensivos exportados, en términos comparativos son más bajos que los precios de los bienes importados (capital-intensivos), además, los precios de exportación no involucraran en su cómputo los costos ambientales *externalidades* derivados de los procesos de extracción y/o transformación de los bienes primarios, así como la pérdida ecológica por el agotamiento de recursos no renovables o el deterioro del medio natural para realizar sus funciones biofísicas: capacidad de absorción y resiliencia (Luis M Jiménez, 1997; Luis M. Jiménez, 2008), por lo que el patrón de comercio internacional produce relaciones de intercambio desigual en términos bifásicos (Carpintero & Naredo, 2004; Pérez, 2003, 2006a).

Un buen reflejo de la situación anterior para el caso colombiano lo presenta el autor antes citado al evaluar la evolución de los precios por tonelada de material importado y exportado entre los años 1970 y 2002; Pérez utiliza una regresión lineal simple para determinar el signo de la pendiente en la tendencia de los dos precios, expresados en valores medios de dólares por tonelada exportada y dólares por tonelada importada, y encuentra que el valor medio de las exportaciones por tonelada presentó un ritmo creciente superior al de las importaciones hasta comienzos de la década de los ochenta, como se ha apuntado en el capítulo dos esto se debe al boom de precios del café en este período, no obstante, debido al desplome de los precios del café la tendencia se revirtió desplomándose el valor medio de las exportaciones a la misma velocidad hasta alcanzar un nivel estable a partir de 1987, de manera tal que el signo de la pendiente de los precios medios por tonelada de exportación fue negativo, mientras que el valor medio de las importaciones por tonelada presentó un signo positivo en la pendiente, es decir que en promedio a lo largo del período se recibió un menor valor por tonelada exportada, o dicho de otra forma, en cada período se tuvo se exportar más cantidades de para obtener el mismo nivel de ingresos, mientras que en el caso de las importaciones en promedio se tuvo que pagar más (salida de divisas) por cada tonelada importada, la figura 73, presenta esta brecha de precios, especialmente en el transcurso de 1980 momento en el que los precios medios de importación se ubicaron por encima de los 800 dólares por tonelada y los precios de las exportaciones comenzaron a decrecer hasta registrar un valor promedio mínimo de 200 dólares por tonelada manteniendo esta tendencia en la última década analizada.

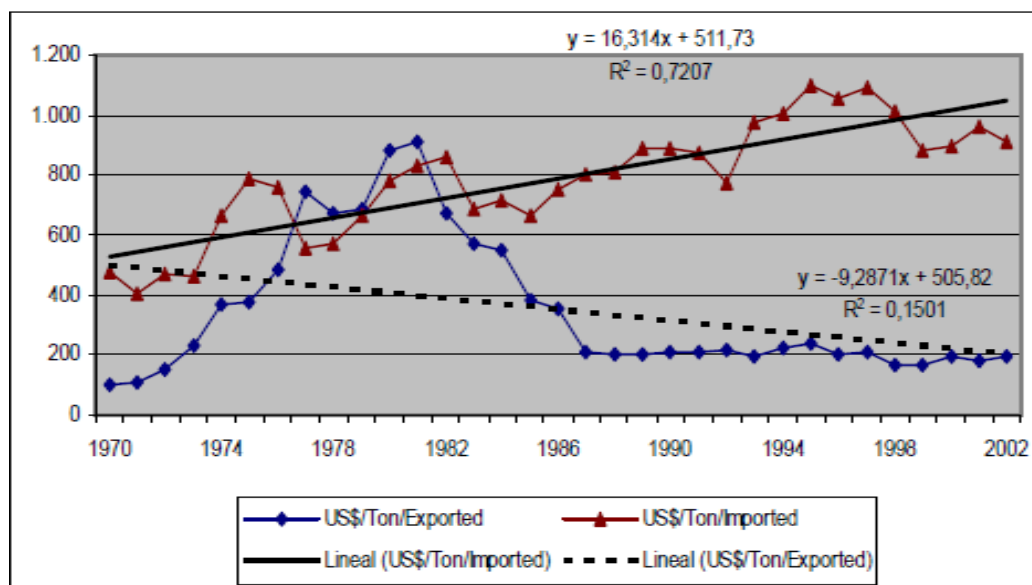


Figura 73. Valor medio por tonelada exportada vs. Valor medio por tonelada importada
 Nota. Adaptado de “Comercio Internacional y Medio Ambiente en Colombia” por Pérez, (2006b), p. 27.

Adicionalmente, Pérez refiere que pese al auge de las exportaciones de carbón y petróleo desde 1980 hasta 2002, estas no lograron contrarrestar el comportamiento descendente en el precio medio por tonelada exportada, debido a que su contribución por unidad de tonelada en términos de valor económico fue bajo.

Adicionalmente, al revisar la tendencia de forma desagregada se encuentra que el explosivo incremento en el valor por tonelada de material exportado se explica predominante por la alta cotización internacional del café en relación a la baja contribución en el valor por tonelada de los materiales minero-energéticos por lo menos hasta la crisis del petróleo que disparó los precios de los hidrocarburos, aun así en términos comparativos el valor medio de las exportaciones ha sido ampliamente inferior al valor medio de las importaciones. En este caso el valor por tonelada de importaciones es elevado debido a que las importaciones de Colombia en una gran proporción provienen de manufacturas intensivas en mano de obra calificada y capital, y con alto valor añadido, por lo que sus costos relativos son mayores, lo que sustentó el elevado valor por tonelada importada durante el período de 1975 a 2002, que prácticamente duplicó el valor por tonelada de las exportaciones de las manufacturas del país en el mismo período. Por otro lado, las importaciones de materiales minero-energéticos tiendieron a tener un mayor valor por tonelada respecto al valor por tonelada exportada (Pérez, 2006b).

De acuerdo a este escenario es evidente que Colombia ha sostenido una BCF en condiciones desiguales, consolidándose a la vez en la exportación de materias primas (principalmente minero-energéticas). Además, de manera adicional a la asimetría en los precios por tonelada exportada e importada, en el plano social y ambiental también se generan desigualdades, en el primer caso debido a que la especialización en recursos naturales intensivos en mano de obra menos cualificada, genera una brecha en términos salariales por la menor remuneración a los trabajadores en comparación a la remuneración de los trabajadores extranjeros con mayor cualificación en los sectores de manufacturas de donde provienen las importaciones, y en el segundo caso, el efecto asimétrico derivado del patrón primario exportador se refleja en la presión ecológica que se ejerce sobre el territorio nacional, en especial durante la etapa del proceso extractivo de recursos naturales, como el agotamiento de los recursos naturales no renovables, la modificación del entorno y del uso del suelo, y la generación de emisiones conexas al proceso extractivo, impactos que no están valorados dentro de los precios, por lo que desde el enfoque de precios del comercio exterior no se valora los costos monetarios de compensación, reparación y/o mitigación ambiental; costos que son asumidos por el país. Como evidencia de este hecho se encuentra que la inversión colombiana en protección ambiental entre 1994 y 1999²²⁹ acumuló un stock de 2.613.596 millones de pesos, representando una tasa de crecimiento anual promedio de 22,65%, que supera ampliamente la tasa de crecimiento de la economía que fue del 14,42% para ese período. Todo lo anterior refleja las condiciones del intercambio ecológicamente desigual para Colombia²³⁰, tema que será abordado en el siguiente epígrafe desde la perspectiva de los combustibles fósiles.

Por otra parte, entrando puntualmente en el análisis de los combustibles fósiles el comportamiento de la balanza comercial monetaria y la física de estos recursos es totalmente opuesto²³¹. En el caso de la balanza comercial monetaria se presentó un marcado superávit

²²⁹ El DANE registra en sus cuentas satélites las cifras de la formación bruta de capital fijo en protección ambiental a precios constantes de 1994, para el período 1994-1999 únicamente.

²³⁰ Frete al intercambio ecológicamente desigual, Pérez (2006) expone que las ventajas comparativas estáticas son las que han hecho que los países ricos en recursos naturales se dediquen a la producción y exportación de bienes natural-intensivos y a la importación de bienes capital-intensivos, señalando que dicho patrón de especialización conlleva a mayores costos ecológicos puesto que los recursos exportados no incluyen en los precios de exportación la pérdida ni la depreciación del patrimonio ambiental. De la misma manera los términos de intercambio del Comercio Internacional, junto a las relaciones desiguales del Norte y el Sur, hacen que se requiera cada vez explotar y exportar más recursos naturales para obtener la misma cantidad en bienes importados (Pérez, 2006b, xiii).

²³¹ La diferencia radica tanto en el aspecto conceptual que por definición corresponden a una relación inversa en el cálculo, ya que la balanza comercial monetaria se define como la diferencia entre exportaciones e importaciones medida en valor monetario, mientras que la balanza comercial física se define como la diferencia entre importaciones y exportaciones en kilotoneladas; como en el resultado

con una elevada tendencia de crecimiento entre 1990 y 2012, pasando de 3.815 a 5.0483 millones de dólares (representando un crecimiento promedio anual de 13%), comportamiento explicado principalmente por el rápido crecimiento de las exportaciones de los combustibles fósiles (las importaciones fueron marginales en relación a las exportaciones tanto en valor como en el número de períodos en las que se presentaron), además, el valor de las exportaciones entre el año 2000 y 2012 sólo presentó un descenso en 2009 debido a la contracción de la demanda mundial a causa de la crisis financiera internacional, el resto de años presentó crecimientos sostenidos. Este hecho es significativo puesto que las exportaciones en valor más representativas en esta categoría fueron las del petróleo, pese a que en volumen (KBPDC) las exportaciones de este hidrocarburo descendieron progresivamente entre 1999 y 2007; el hecho de que las exportaciones en valor monetario (millones de dólares) aumentara de forma permanente con independencia de la reducción en los volúmenes exportados del petróleo se explica por la dinámica de precios internacionales que experimentaron ritmos de crecimiento acelerados²³². Puntualmente entre 1990 y 2012 las exportaciones de petróleo pasaron de 1.950 a 31.558 millones de dólares, mientras que las de carbón pasaron de 544.7 a 7.805 millones de dólares, y las de gas natural de 25.5 a 487.5 millones de dólares, representando una participación promedio del 72 %, 25% y 3% respectivamente, lo cual deja ver el gran peso de las exportaciones monetarias del petróleo y el carbón como se ha mencionado en otros apartados. El comportamiento en términos económicos de la balanza comercial de los combustibles fósiles se puede observarse en la figura 74 (lado izquierdo).

contable, puesto que en la balanza comercial en resultado es de superávit (entrada masiva de divisas) y la balanza física el resultado es de déficit por la creciente salida material de los recursos energéticos.

²³² Tanto en los precios del petróleo (WTI y Brent), como en los precios del gas natural (Alberta y Henry Hub) y del carbón (Northwest Europe Marker y Us Central Appalachian Coal Spot), cabe mencionar que las exportaciones de carbón fueron crecientes tanto en volumen (toneladas) como en valor (dólares).

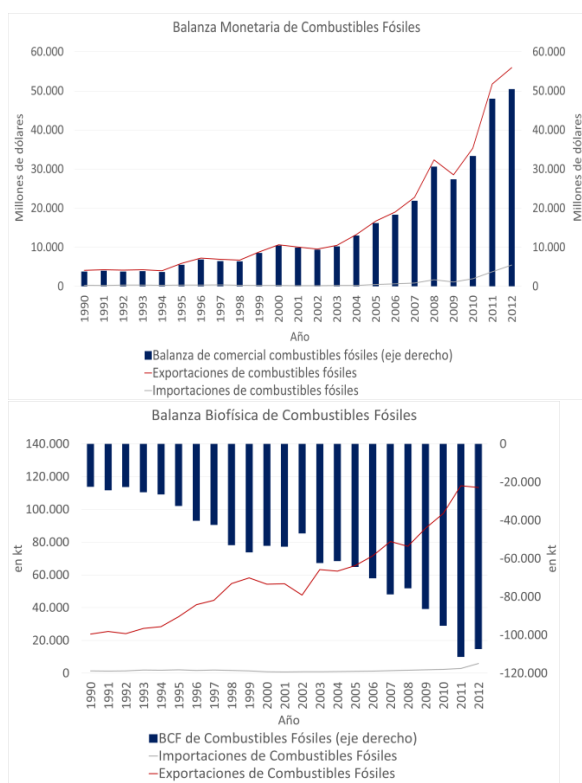


Figura 74. Balanza comercial monetaria y física de combustibles fósiles

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015, y estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

En cuanto a la balanza comercial física de los combustibles fósiles la tendencia ha sido por el contrario deficitaria, acumulando una salida neta del territorio nacional de 1.121.902 kilotoneladas entre 1990 y 2012 (representando una tasa de crecimiento promedio anual de 7,8%), además la distribución por tipo de combustible fósil también ha presentado una modificación, en este caso el carbón es el recurso con mayor peso en las salidas de materiales acumulando un acervo de 804.250 kt, seguido por el petróleo con 314.404 kt, y el gas con apenas 3.249 kt, representando una participación de 72%, 27,6% y 0,3% respectivamente.

Esta especialización extractivista se ha intensificado debido a la flexibilización de los mecanismos gubernamentales en Colombia sobre la explotación de recursos naturales, como lo señala Vélez-Torres (2014) los principales mecanismos en materia de energía *la legislación y la titulación* han condicionado la disposición y configuración de los territorios dando un mayor control sobre la extracción de los recursos al capital privado (extranjero), lo cual ha incrementado las concesiones mineras y de hidrocarburos, y las luchas por su control.

En síntesis los patrones de comercio exterior del país reflejan la vulnerabilidad en cuanto a las relaciones de intercambio desigual tanto por las condiciones económicas y sociales, como por

las presiones ecológicas a las que se somete el país y que no son compensadas, por lo que la vocación exportadora de materias primas (en especial las minero energéticas) y la falta de una gobernanza sobre los recursos con enfoque de sostenibilidad, constituyen un lastre para alcanzar transformaciones en las estructuras de producción y de comercio que permitan lograr un desarrollo sostenible.

4.3. INTERCAMBIO ECONÓMICO Y ECOLÓGICAMENTE DESIGUAL: RELACIONES COMERCIALES Y EFECTOS ECOLÓGICOS — HACIA UNA TESIS PREBISCH ECOLÓGICA

Como se ha visto en los apartados anteriores la estructura de comercio exterior del país se ha caracterizado por ser principalmente exportadora de bienes intensivos en recursos abundantes en mano de obra no cualificada y recursos naturales, y de bajo valor en términos comparativos, e importadora de bienes intensivos en mano de obra cualificada y capital, es decir de alto valor añadido y precio. Además, en el contexto internacional este patrón genera relaciones desiguales tanto en los aspectos económicos como en los sociales y ambientales (Kahhat & Williams, 2012; Pérez, 2006a; Vallejo et al., 2011).

En línea con lo anterior en este ítem se hace una revisión de los términos de intercambio y la evolución de los precios por tonelada exportada para la totalidad de los flujos de materiales, así como para el petróleo y el carbón, la dos categorías más representativas del país tanto en valor como en volumen. Tomando como referencia los datos del Banco Mundial sobre los índices de valor de las exportaciones e importaciones se observa una tendencia de crecimiento en especial a partir de 1992 y más intensa desde 2004 (como se apuntó antes en la década de los noventa el país realizó grandes transformaciones políticas, institucionales y económicas basadas en los lineamientos del Consenso de Washington²³³), además el ritmo de crecimiento de las exportaciones y las importaciones fue aparejado a lo largo del período (figura 75), salvo entre 1992 y 1998, período en el que se realizó el cambio estructural con la entrada del modelo de apertura económica lo que permitió un elevado crecimiento de las importaciones en este período, adicionalmente el valor de las importaciones creció por encima del valor de las exportaciones.

²³³ El Consenso de Washington consistió en un conjunto de reformas de política económica de corte neoliberal diseñadas para impulsar cambios estructurales en América Latina (Ramírez, 2008).

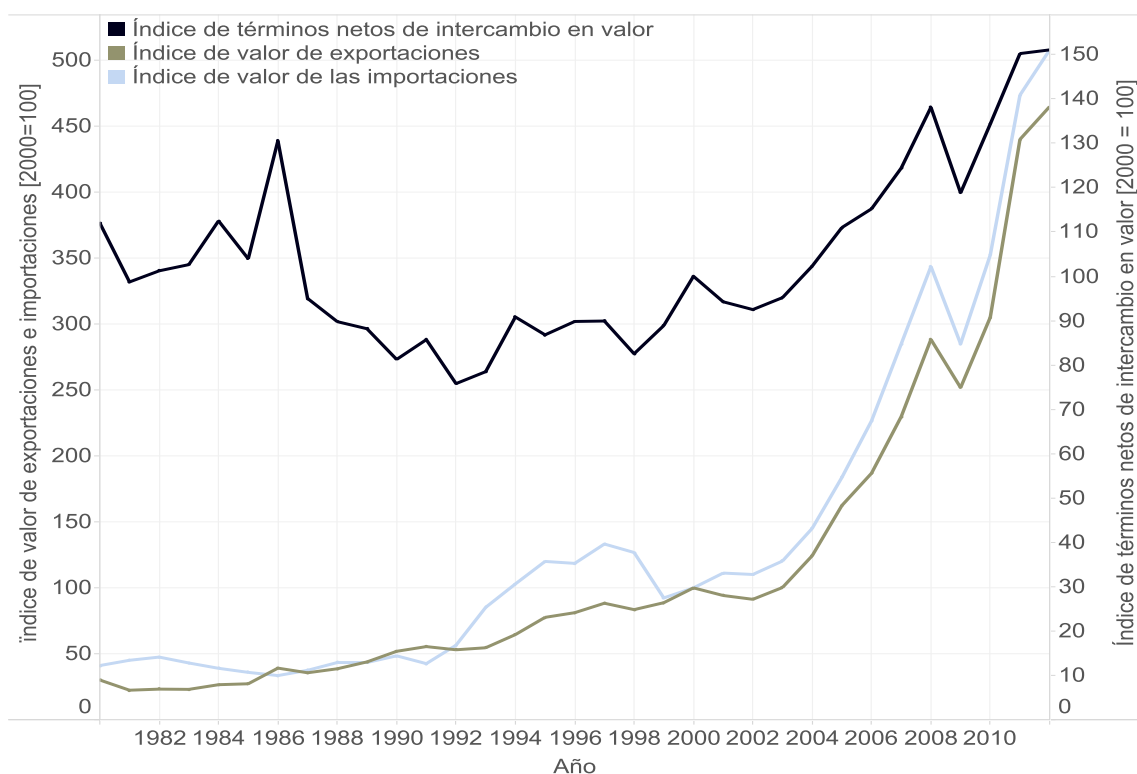
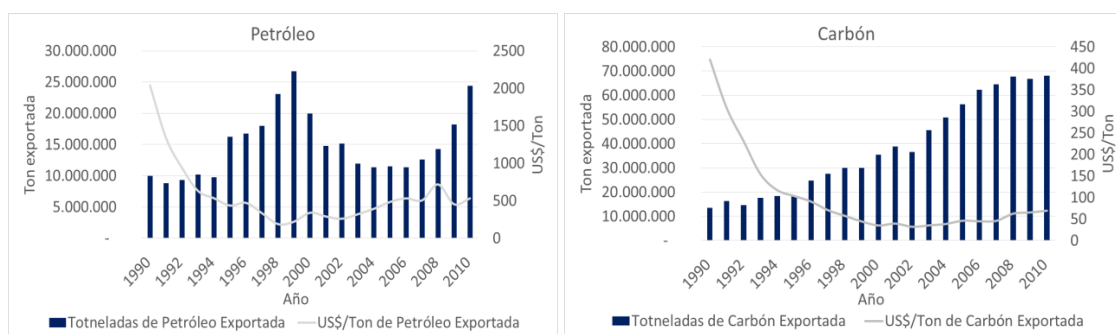


Figura 75. Términos de intercambio de Colombia

Nota. Elaboración por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015.

En términos netos “índice de términos de intercambio” (lado derecho del panel superior), el comportamiento del índice no ha tenido un balance muy favorable, puesto que presentó una reducción entre 1986 y 1990, manteniendo una relativa estabilidad durante toda la década siguiente (1990-2000), para ascender posteriormente a niveles cercanos a los de 1986, es decir que se adquirió una cantidad cada vez menor de importaciones por unidad de exportación desde mediados de los años ochenta hasta el año 2000, en otras palabras en este período el país experimentó un deterioro de la relación real de intercambio, invirtiendo la tendencia a partir del año 2000 aunque en términos porcentuales alcanzó niveles apenas superiores a los presentados en 1986.



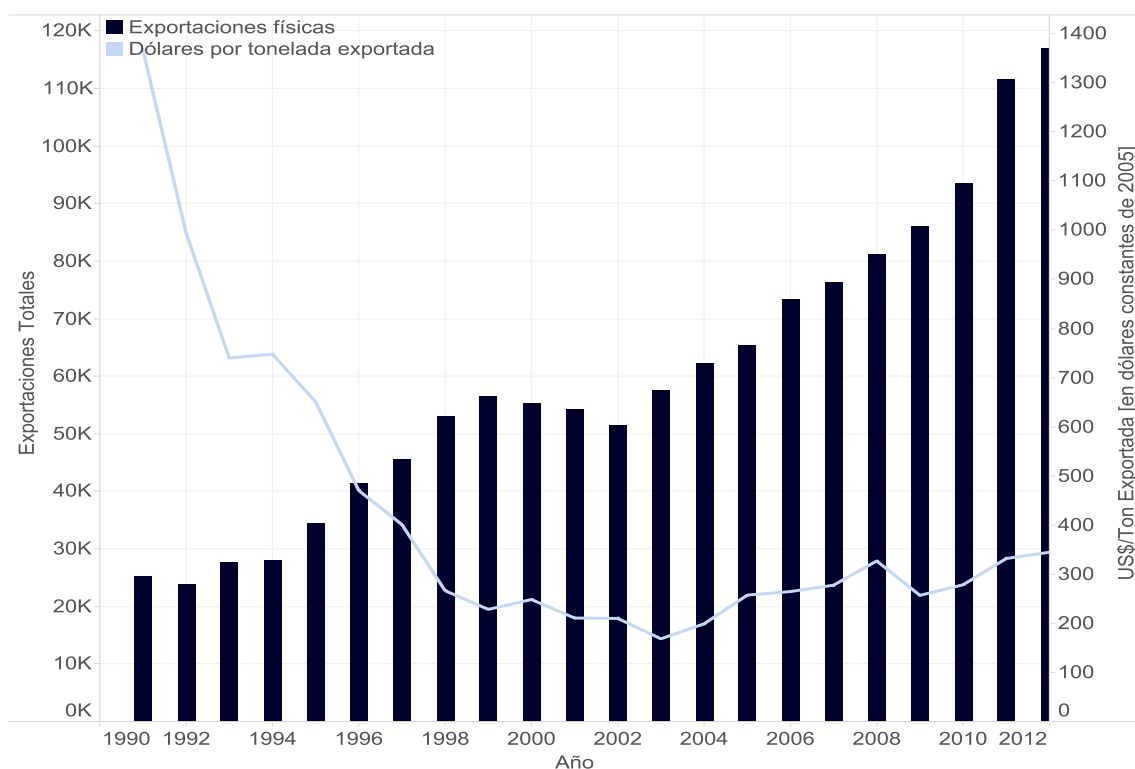


Figura 76. Exportaciones de materiales, petróleo y carbón, y valor medio por tonelada exportada

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015, y los balances energéticos nacionales. Los datos del valor medio por tonelada exportada corresponden a cálculos propios.

La tendencia analizada antes corresponde a la totalidad de exportaciones e importaciones del país, sin embargo, muestra una aproximación a la tendencia en términos físicos de la relación de intercambio (figura 76 panel inferior). Utilizando los datos del flujo de materiales correspondientes a las exportaciones (en toneladas) y el valor medio por exportaciones (en dólares constantes de 2005)²³⁴ se observa una tendencia particular y en correspondencia con los términos netos de intercambio, es decir, que el valor medio por tonelada exportada en términos constantes disminuyó sustancialmente pasando en promedio de 1.367 dólares por tonelada en 1990 a 248 dólares por tonelada en promedio (una reducción del 82%) en el año 2000, manteniéndose relativamente constante hasta 2012, al mismo tiempo que las exportaciones en toneladas han pasado de 25 millones a cerca de 117 millones de toneladas (exhibiendo una tasa de crecimiento promedio anual de 7%); lo que indican estos datos es cada año se recibió una menos cantidad de dividas por tonelada exportada del conjunto de materiales (biomasa, combustibles fósiles, minerales metálicos y minerales industriales y de

²³⁴ El cálculo del valor medio por tonelada exportada se realizó tomando como referencia el cociente entre el valor total de las exportaciones en dólares corrientes sobre el volumen total de las exportaciones expresadas en toneladas, y convirtiendo los resultados en dólares constantes tomando como base el año 2005.

construcción). Estos datos son consistentes con trabajos como los de Pérez (2003, 2006a) y Vallejo et al. (2011).

Como aporte al estudio se replicó el análisis para el caso de los combustibles fósiles, concretamente para el petróleo y el carbón. Los resultados se puede observar en el panel superior de la figura 76. En este caso la tendencia sigue la misma dinámica que los términos netos de intercambio y del valor medio de las exportaciones por tonelada para la totalidad de los flujos materiales. A pesar que los precios nominales por tonelada crecieron progresivamente (lo mismo ocurrió con los precios internacionales de cotización de estos commodities: WTI y Brent para petróleo, y Northwest Europe Marker y Us Central Appalachian Coal Spot para el carbón), los valores medios por tonelada exportada en términos constantes para el petróleo y el carbón también presentaron una elevada tendencia de desaceleración en el primer quinquenio de la serie manteniéndose relativamente estables entre 1998 y 2012. En cuanto al petróleo el precio medio de exportación pasó de 2.038 a 531 dólares entre 1990 y 2012, significando una caída de más del 74%; conservando en promedio un valor cercano a los 500 dólares por tonelada exportada desde el año 2000 hasta el 2012. Además, en 1998 y 1999 se registraron los precios por tonelada más bajos del período coincidiendo con los dos años de mayor exportación en volumen, es decir que se recibieron en promedio menos divisas por tonelada exportada en estos dos años, adicionalmente, en términos de volumen se presentó una caída de las exportaciones que duró cerca de ocho años.

En cuanto al carbón, como se mencionó antes la tendencia en el valor medio de las exportaciones fue similar al petróleo, aunque el comportamiento de las exportaciones (en toneladas) en este caso presentaron un crecimiento sostenido, lo que representa en este caso un pérdida mayo por tonelada exportada, puesto que el precio medio paso de 420 a 69 dólares entre 1990 y 2012, a la vez que las exportaciones pasaron de 13,5 a 68,2 millones de toneladas en el mismo período. En otras palabras, esto quiere decir que en cada período se requirió exportar más toneladas de carbón para recibir en promedio las mismas unidades monetarias.

En síntesis tanto los resultados del capítulo tres como los de este capítulo dan cuenta de las presiones ecológicas a las que se enfrenta Colombia tanto por la extracción de materiales como por las emisiones de contaminantes, a la vez que el patrón de especialización en sus relaciones comerciales demarcan una evidente relación de intercambio económica y ecológicamente desigual tanto a nivel general como en el caso concreto de los recursos primario energéticos permitiendo establecer la conjetura de una *tesis prebisch ecológica*.

CAPÍTULO QUINTO

5. MODELACIÓN DE LA CONEXIÓN ENTRE ECOINNOVACIÓN Y ECOEFICIENCIA EN EL SECTOR DE COMBUSTIBLES FÓSILES.

“La expresión «tecnologías sostenibles» es incorrecta ya que el desarrollo sostenible no es una cuestión tecnológica ni organizativa sobre la sostenibilidad (...), sino que es una cuestión sistémica. Es incorrecto considerar que ciertas tecnologías son sostenibles porque, físicamente, es imposible que una tecnología tenga un impacto cero en el medio ambiente ya que todo acto de producción y consumo tiene impactos medioambientales. La «innovación para un desarrollo sostenible» es un enunciado complejo debido a los requisitos contrapuestos (de apoyo y control) que lleva implícitos. La política de innovación debe adoptar una perspectiva sistémica de innovación que combine los beneficios para el usuario y para la sociedad”.

René Kemp, 2010

5.1. CONTEXTO DE LA DE INNOVACIÓN EN COLOMBIA

La premisa de que la innovación es un factor clave para la competitividad de un país ha generado un cierto consenso (Carmona, 1992; Dosi, 1992; Olaya, 2008), así como el papel de la inversión en investigación y desarrollo (I+D), y el capital humano; sobre estos aspectos se encuentra una amplia literatura como los trabajos de Aghion, Bloom, Blundell, Griffith, & Howitt (2005) y Benavente (2005) entre otros, que señalan el impacto positivo entre la producción y la I+D+i²³⁵, tanto a nivel agregado como a nivel de firma. Sin embargo, a pesar de los planteamientos teóricos y la evidencia empírica Colombia no se ha caracterizado por incentivar procesos de I+D+i, por el contrario a lo largo de dos décadas ha disminuido la inversión en este aspecto, y en el entorno de la región es uno de los países de Latinoamérica con menor participación de I+D+i en relación al PIB; según un estudio realizado por la OECD, el país redujo casi a la mitad la participación de la inversión en ciencia y tecnología entre

²³⁵ Investigación, desarrollo e innovación.

mediados de la década de los noventa y mediados de la década pasada (OECD, 2011), la figura 77 muestra este hecho: mientras que países como Costa Rica, Cuba, Uruguay, Argentina, Chile y Brasil incrementaron esta proporción (y el promedio para Latinoamérica aumentó cerca de una décima ubicándose en 0,65%), en el caso de Colombia la proporción de la inversión en I+D como porcentaje del PIB se redujo a la mitad de 0,29% a 0,15% en el período analizado, y en la actualidad según datos del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, esta proporción asciende a 0,194% (OCyT, 2014), muy por debajo del promedio de los países de la región²³⁶.

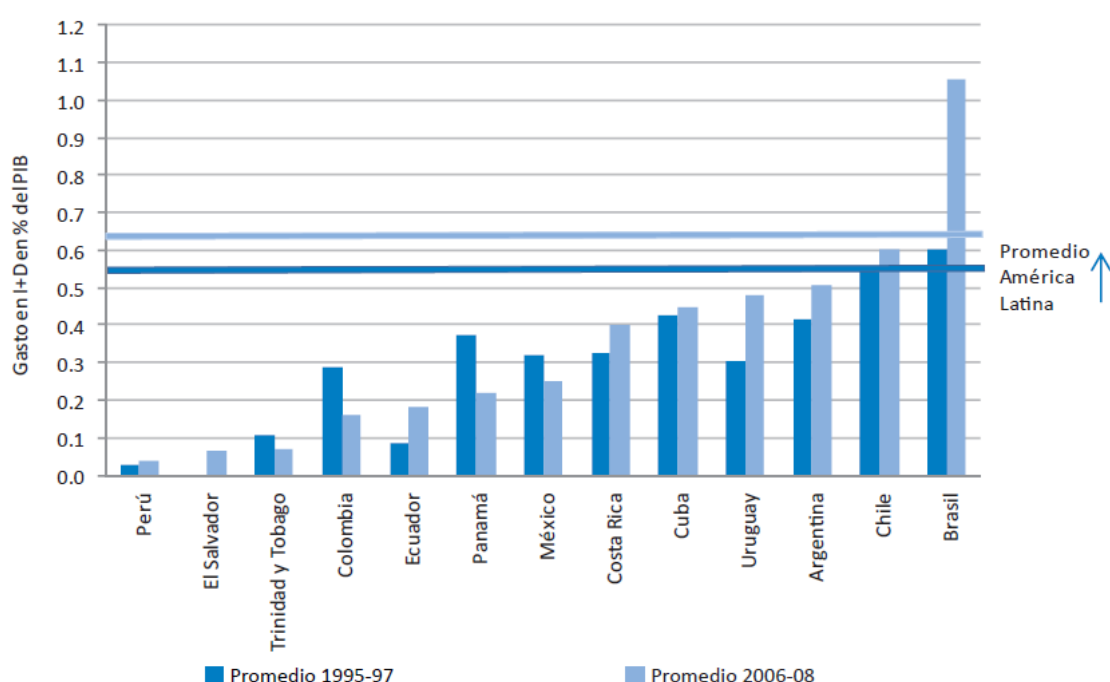


Figura 77. Inversión en I+D en porcentaje del PIB, América Latina y el Caribe

Nota. Adaptado de “Hacia un mecanismo para el diálogo de políticas de innovación: Oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe.” por OECD, (2011), p. 12.

Este hecho también se refleja en los indicadores de competitividad reportados por el Foro Económico Mundial (WEF por su sigla en inglés), al revelar que entre los doce componentes del Índice de Competitividad Global, la innovación presenta el nivel más bajo (WEF, 2014), así mismo entre 2012 y 2015 el país ha estado entre los puestos 60 y 68 de 143 países, en el Índice global de innovación, registrando las mayores deficiencias en los criterios de capital humano e investigación, conocimiento y salida de tecnología, y tasa de eficiencia en innovación (Cornell-University, INSEAD, & WIPO, 2014).

²³⁶ Además el informe “OECD Reviews of Innovation Policy: Colombia” de la OECD indica que, “las empresas colombianas participan muy poco en la innovación. Durante la última década, sólo un tercio de las empresas manufactureras han introducido innovaciones. Únicamente el 30% del total en I+D se lleva a cabo por el sector empresarial, en comparación con el 65-75% en los principales países de la OCDE y China” (OECD, 2014a, p. 10).

No obstante en los últimos años el país ha iniciado un proceso de transformación en cuanto a políticas en ciencia, tecnología e innovación, como las Leyes 1286 y 1341 ambas de 2009; la primera transformó a Colciencias²³⁷ en Departamento Administrativo y fortaleció el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación del país (SNCTI), y la segunda definió el marco general para la formulación de las políticas públicas que rigen el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, su ordenamiento general, el régimen de competencia, la promoción de la inversión en el sector y el desarrollo de la tecnología entre otras medidas²³⁸.

PNCT+I	Número de proyectos Number of projects	%	Monto financiado por Colciencias Funds granted by Colciencias	%	Contrapartida y otras fuentes Counterpart funds and other resources	%	Monto total proyectos aprobados Total funding of approved projects	%
Ciencia, tecnología e innovación en salud Science, technology and innovation in health	825	23,83	291.788	32,27	260.984	24,30	552.773	27,94
Desarrollo tecnológico e innovación industrial Technological development and industrial innovation	759	21,92	189.586	20,96	300.080	27,94	489.666	24,75
Investigaciones en energía y minería Research in energy and mining	291	8,41	77.378	8,56	101.498	9,45	178.876	9,04
Ciencia, tecnología e innovación agropecuarias Science, technology and innovation in agriculture and livestock	282	8,15	75.820	8,38	87.352	8,13	163.172	8,25
Electrónica, telecomunicaciones e informática Electronics, telecommunications and informatics	320	9,24	63.747	7,05	85.564	7,97	149.311	7,55
Ciencias básicas Basic sciences	299	8,64	64.835	7,17	71.973	6,70	136.809	6,92
Bioteología Biotechnology	147	4,25	52.353	5,79	54.766	5,10	107.119	5,41
Ciencias, tecnologías e innovación en áreas sociales y humanas Science, technology and innovation in social and human issues	195	5,63	28.352	3,14	38.857	3,62	67.208	3,40
Ciencia, tecnología e innovación en ambiente, biodiversidad y hábitat Science, technology and innovation in environment, biodiversity and the habitat	119	3,44	23.820	2,63	26.602	2,48	50.422	2,55
Ciencia, tecnología e innovación del mar y de los recursos hidrobiológicos Science, technology and innovation of the sea and aquatic resources	88	2,54	21.476	2,37	25.685	2,39	47.161	2,38
Ciencia, tecnología e innovación en educación Science, technology and innovation in education	127	3,67	13.252	1,47	17.933	1,67	31.185	1,58
Ciencia, tecnología e innovación en seguridad y defensa Science, technology and innovation in defense and security	10	0,29	1.916	0,21	2.792	0,26	4.707	0,24
Total	3.462	100,00	904.322	100,00	1.074.087	100,00	1.978.409	100,00

Figura 78. Inversión total en proyectos aprobados según Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PNCT+I), 2004 - 2013

Nota. Adaptado de “Indicadores de ciencia y tecnología Colombia 2014.” por OCyT, (2014), p. 187. Cifras en millones de pesos de 2013.

Con relación a la ciencia, tecnología e innovación en combustibles fósiles, el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología agrupa la información por programas de investigación entre los que se encuentra la categoría “energía y minería”, presentando indicadores por número de investigaciones y montos de financiación por categoría. Entre 2004 y 2013 los recursos destinados a financiar proyectos en CTI en Energía y Minería acumularon 178.876

²³⁷ Institución de referencia nacional para la promoción de políticas públicas que fomenten la CT+I en Colombia, incentivando la producción de conocimientos y la construcción de capacidades para la CT+I a través de la financiación en diferentes programas de I+D+i.

²³⁸ Otras normas implementadas fueron el plan “Vive Digital” destinado a fomentar proyectos que innovación regional y el desarrollo tecnológico a través de las TIC, el plan “APPS.co” que incentiva la creación de empresas de TIC para el desarrollo de aplicaciones informáticas, y el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2010-2014 que involucra la innovación como un eje fundamental, asimismo otra medida adoptada que favorece el desarrollo de la ciencia y la tecnología fue el nuevo sistema de distribución de las regalías (Ley 1530 de 2012) que asigna el 10% de los ingresos por la explotación de recursos no renovables a un Fondo para financiación de proyectos en CTI (OECD, 2014a, 2014b).

millones de pesos (figura 78), ocupando la tercera categoría con mayor financiación para proyectos de CTI (9,04% del total), distribuidos entre 291 proyectos entre los años mencionados, sin embargo, a pesar de ser la tercera categoría con mayor financiación se ubica muy por debajo de las dos primeras “Salud” e “Industria” con 825 y 759 proyectos financiados y 552.773 y 489.666 millones de pesos en acumulado respectivamente (OCyT, 2014). Además la cantidad y porcentaje de participación del número de proyectos en energía y minería aprobados por Colciencias según el PNCT+I²³⁹ se encuentran en el promedio nacional, por debajo de la cantidad de proyectos de ciencia, tecnología e innovación aprobados en las áreas de salud, industria y ciencias básicas (OCyT, 2014).

Otros indicadores en los que se observa una débil presencia de la I+D+i en el área de la energía son los relacionados con el número de proyectos aprobados en el PNCTI (figura 79) y el número de grupos de investigación en esta área registrados en la plataforma ScienTI²⁴⁰ y el número de artículos científicos publicados en revistas indexadas; en el primer indicador se aprecia un bajo nivel de investigaciones en energía aprobadas por el PNCTI, muy por debajo de los proyectos aprobados en otras áreas, además de que entre 1994 y 2009 se presentaron en promedio cerca de 30 investigaciones por año, dejando ver de esta manera la pobre evolución de este indicador. En el segundo indicador el número de grupos de investigación en energía sólo representaron el 2% del total de grupos de investigación del país en 2014, muy por debajo de la participación de otros grupos de investigación como los de investigación en ciencias sociales y en salud que representaron el 35% y 15% del total de grupos de investigación respectivamente (OCyT, 2014), en cuanto al número de artículos científicos publicados el desempeño también ha sido deficiente, entre 2003 y 2012 las publicaciones estuvieron por debajo del promedio nacional pasando de 22 a 235 artículos publicados, superado ampliamente por artículos publicados en áreas como medicina, agricultura y ciencias biológicas, física y astronomía, ciencia de la computación, y bioquímica, genética y biología molecular, que en 2012 registraron 1.542, 1.009, 1.044, 739, 679 y 509 artículos publicados respectivamente (OCyT, 2013, p. 128).

²³⁹ Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.

²⁴⁰ La plataforma ScienTI es el sistema de información de investigación, desarrollo e innovación, y clasifica los investigadores y grupos de investigación por áreas de CTI.

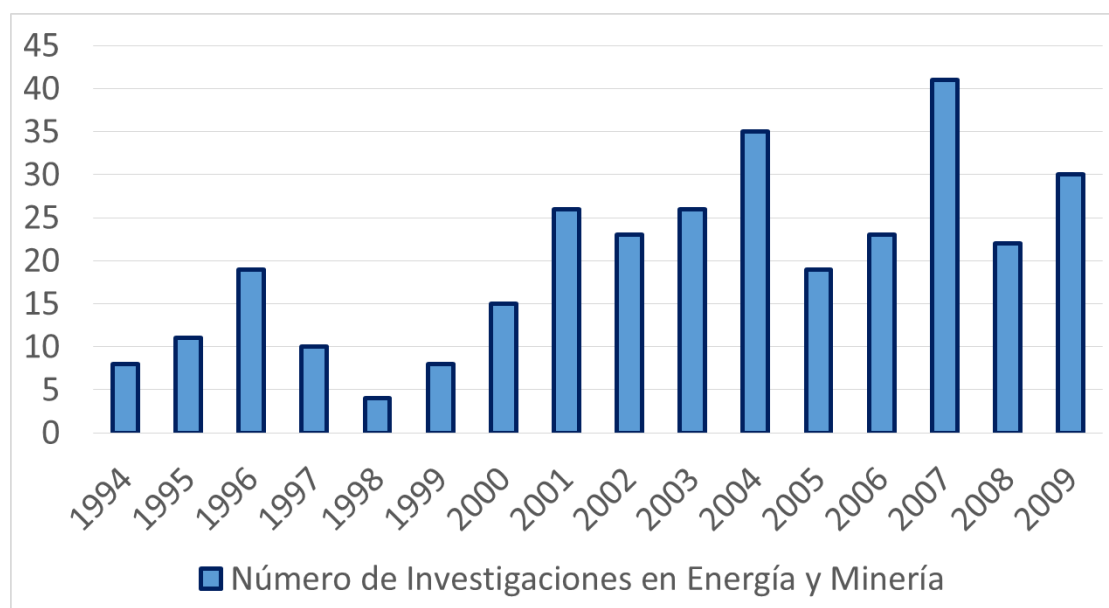


Figura 79. Número de proyectos de investigación en energía y minería según el PNCTI

Nota. Elaborado por el Autor a partir de los reportes del OCyT 2013 y 2014.

La lenta evolución de los distintos indicadores referentes a la CTI en el área de la energía y minería unido a las aceleradas tendencias en la extracción de los combustibles fósiles y de las emisiones asociadas a ellos, como se analizó en los capítulos 2, 3 y 4, ponen de manifiesto la necesidad de avanzar con mayor dinamismo en estrategias y programas que estimulen el desarrollo de procesos de ecoinnovación y ecoeficiencia en la energía y los recursos minero energéticos.

5.2. CONEXIÓN ENTRE ECOINNOVACIÓN Y ECOEFICIENCIA: MODELACIÓN EN EL SECTOR DE COMBUSTIBLES FÓSILES

En este apartado se explora la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia en los combustibles fósiles en el nivel meso²⁴¹, es decir a nivel sectorial, con el fin de explorar las relaciones sectoriales. A continuación se presenta algunos aspectos generales así como una descripción de los conceptos y procedimientos utilizados para el análisis.

²⁴¹ La ecoinnovación y la ecoeficiencia puede ser estudiadas en distintos niveles de agregación como el nivel micro (empresas), el nivel meso (un sector económico) y el nivel macro (el sistema económico en general). En esta investigación se estudia el vínculo entre ecoinnovación, ecoeficiencia y los combustibles fósiles en el nivel meso, es decir, en el conjunto del sector de hidrocarburos y carbón.

5.2.1. Política, sistemas de innovación y la innovación ambiental

Conforme a autores como Andersen (2010), Arundel & Kemp (2009), Bleischwitz, Giljum, Kuhndt, & Schmidt-Bleek (2009), Huber (2005), Kemp (2010), Reid & Miedzinski (2008b) y Rennings (2000), uno de los canales o conductores que posibilitan el desarrollo de la ecoinnovación son los sistemas de gestión, en este punto el país ha avanzado en la conformación de varios sistemas de gestión que puede servir de base para la desarrollo de innovaciones ambientales, como por ejemplo el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) y el Sistema De Información Nacional Ambiental (SINA), que hacen parte de la política nacional sobre innovación y recursos naturales. En el ámbito empresarial se encuentran varias normas técnicas internacionales y nacionales que sirven como facilitadores e incentivan la dinámica de procesos en ecoinnovación y ecoeficiencia en los combustibles fósiles, como por ejemplo el sistemas de gestión ambiental (ISO 14001), y las normas técnicas NTC 5067 sobre la planificación y gestión ambiental de proyectos de exploración sísmica terrestre, y NTC 250 sobre buenas prácticas sociales para la exploración y la explotación de hidrocarburos²⁴².

5.2.2. La innovación y su vínculo con el proceso económico. Fundamentos teóricos de ecoinnovación y ecoeficiencia

En este apartado se presenta el marco general para estudiar los principios de la sostenibilidad desde la perspectiva de la energía que sirven de soporte teórico en el estudio de la relación entre combustibles fósiles (como la principal fuente de energía primaria) y la sostenibilidad entendida como la eficiencia en la gestión de dichos recursos (ecoinnovación y ecoeficiencia). Este marco de referenciado se basa en la aportación de Bretschger & Zurich (2010) que a través de una función de producción estudian la relación entre el producto total (ingreso nacional) y la eficiencia energética, dividiendo el análisis según el horizonte temporal utilizado corto, mediano y largo plazo, y llegan a la conclusión de que las políticas de sostenibilidad que incentiven una distribución adecuada de los flujos de energía son fundamentales para la eficiencia energética y que ésta a su vez tenga un impacto positivo en la economía, además añaden que una política de mayor asignación de gasto público hacia una economía más ecológica puede contribuir a sostener el bienestar social sin incrementar el flujo energético

²⁴² ISO Organización Internacional de Normalización y NTC Norma técnica Colombiana.

(desacoplamiento de recursos e impactos), aunque advierten que la finalidad de tales políticas no debe ser la de aumentar el bienestar material sino aumentar la eficiencia energética por lo que el diseño de políticas de sostenibilidad deben orientarse a incrementar la eficiencia energética en lugar de aumentar las inversiones de capital, no obstante, se presenta un obstáculo para la financiación del gasto público en programas de eficiencia energética como lo indican Bretschger & Zurich (2010) al afirmar que:

(...) Otros problemas de grandes programas verdes con enormes gastos del gobierno son la falta de proyectos maduros de energía (que causan baja eficiencia) y, posiblemente, los altos costos administrativos. Además, estas políticas pueden llevar una etiqueta verde, pero en realidad sólo ayudar a las industrias existentes para sobrevivir (como la "prima de desecho" en alemán). Por último, los impuestos y los mercados de permisos pueden tener efectos similares o mejores, sin causar una carga para los presupuestos públicos. (p. 200)

El planteamiento teórico de Bretschger y Zurich permite estudiar la producción agregada y las implicaciones para la eficiencia energética a partir de la definición de dos supuestos:

- No existe un único sector (como suele suceder en la mayoría de modelos de esta naturaleza²⁴³) sino que existen varios sectores que utilizan los factores capital, trabajo y energía, por lo que la producción se caracteriza por un orden jerárquico: la producción final es producida por bienes intermedios y estos son producidos por insumos primarios, lo cual permite establecer los diferentes canales de sustitución del flujo energético de una manera más detallada.
- El impacto de la energía en la producción final se realiza de forma indirecta, a través de los bienes intermedios, por lo que la energía se relaciona tanto con la producción final como con los procesos intermedios de producción, reflejando de manera más detallada las relaciones entre sectores, insumos y producción.

Formalmente el modelo se especifica como una función de producción estándar de la siguiente manera:

²⁴³ Como por ejemplo los modelos de la curva ambiental de Kuznets y los basados en la relación entre energía y desarrollo soportados en los planteamientos de Kraft y Kraft (1978), entre otros.

$$Y_t = f(A_t, K_t, Z_t) \quad (31)$$

Donde:

Y es la producción agregada

A es la productividad total de los factores

K es el capital

Z son los insumos intermedios

t representa el tiempo

La expresión (21) puede reescribirse de la siguiente forma:

$$Y(t) = A_t K_t^\alpha Z_t^{1-\alpha} \quad (32)$$

Con $0 < \alpha < 1$

En esta función los insumos producidos K y Z son producidos en los diferentes sectores económicos a partir de los insumos primarios trabajo (L) y energía (E), por lo que estos insumos se distribuyen entre los distintos sectores L_K , L_Z , E_K y E_Z . Formalmente:

$$\dot{K}_t = L_{K(t)}^\beta E_{K(t)}^{1-\beta} - \delta K_{(t)} \quad (33)$$

$$Z_t = L_{Z(t)}^\gamma E_{Z(t)}^{1-\gamma} \quad (34)$$

Con $0 < \beta$ y $\delta < 1$

Donde

\dot{K}_t : es la derivada del capital respecto al tiempo [$\dot{K}_t = \frac{\partial K}{\partial t}$]

δ : es la tasa de depreciación

K y Z: son los subíndices son los sectores económicos

K: es una medida amplia de insumos acumulables que puede estar conformada como el conjunto de recursos físicos, humanos y capital de conocimiento (privado)²⁴⁴.

L: es el trabajo distribuido entre todos los sectores

E: incluye todos los tipos de energía y recursos naturales (como los combustibles fósiles).

Tomando como referencia la ecuación (32), la eficiencia energética viene dada por el cociente del producto total Y, y la energía E, es decir $\frac{Y}{E}$ de forma tal que:

$$Y \equiv \frac{f(\cdot)}{E} E = x \cdot E \quad (35)$$

²⁴⁴ Además, la productividad total de factores A (insumos) también se puede interpretar como el estado de conocimiento del sector público, y los balances de materia y energía definen los límites de capital físico, (e.g. la FBKF), aunque no limita a los otros tipos de capital (e.g. el capital humano).

Donde

$$f(\cdot) = A_t K_t^\alpha Z_t^{1-\alpha}$$

De forma tal que x representa la eficiencia energética aunque no se define en el modelo como un único parámetro de la tecnología como se suele utilizar con frecuencia en los estudios aplicados (Bretschger & Zurich, 2010, p. 190), por el contrario depende de los demás parámetros, es decir, de la producción en todos los sectores económicos, por tanto x se puede representar de la siguiente manera:

$$x = \frac{A_t \delta^{-a} \cdot L_{K(t)}^{\alpha\beta} \cdot L_{Z(t)}^{(1-\alpha)\gamma} \cdot E_{K(t)}^{\alpha(1-\beta)} \cdot E_{Z(t)}^{(1-\alpha)(1-\gamma)}}{E(t)} \quad (36)$$

Lo relevante de este planteamiento es que los cambios en la eficiencia energética (x) no son necesariamente debidos a cambios en la productividad total de factores (A)²⁴⁵, sino que también están relacionados con la reasignación de los insumos primarios (L) y (E) entre los distintos sectores productivos, por lo que la eficiencia energética (en un sentido amplio la ecoinnovación y ecoeficiencia) es un resultado tanto económico como social, y no sólo un asunto de ingeniería, por lo que la implementación de procesos en ecoinnovación incentivados a partir de las políticas públicas que favorezcan el ahorro de energía (y por tanto de una menor utilización de los recursos naturales energéticos) se traducen en impactos positivos tanto en la economía como en la disminución de las presiones ambientales. Además a nivel sectorial también comporta beneficios tanto económicos como ambientales, de una parte, por el aumento en el ahorro del input energético que permite el aumento de stock de capital y, por otra parte, la eficiencia energética se traduce en una disminución tanto del consumo de recursos energéticos como de las emisiones de contaminantes por lo que la sumatoria de los ahorros energéticos de todos los sectores contribuye sustancialmente al desacoplamiento de recursos e impactos ambientales. En este sentido los procesos de ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de los combustibles fósiles representan un pilar fundamental en la eficiencia energética y su difusión en todos los demás sectores de la economía por lo que la profundización de estos aspectos en hidrocarburos y carbón es relevante. El siguiente apartado se ocupa de esta cuestión en el caso Colombiano aplicando una derivación de este marco de referencia a través de la modelación econométrica.

²⁴⁵ Conclusión a la que se llega utilizando los modelos convencionales de la función de producción agregada de Solow.

5.2.3. Modelación entre ecoinnovación, ecoeficiencia y combustibles fósiles

Ante de presentar la metodología utilizada en este apartado y los resultados encontrados se describen algunos aspectos relacionadas con la ecoeficiencia y la ecoinnovación con el propósito de aclarar en alcance de la modelación.

Cuadro 37. Términos y descripción de elementos relacionados en el análisis de ecoinnovación y ecoeficiencia

Ecoinnovación	Ecoeficiencia
<p><u>Definición:</u> Ecoinnovación es la producción, la asimilación o la explotación de un producto, proceso de producción, servicio o método de gestión o de negocio que es una novedad en la organización (desarrollada o adoptada) y que implica, a lo largo de su ciclo de vida, una reducción de los riesgos ambientales, la contaminación y otros impactos negativos del uso de recursos (incluyendo la energía) en comparación con las correspondientes alternativas (Kemp & Pearson, 2007).</p>	<p><u>Definición:</u> La Ecoeficiencia consiste en la realización de actividades que crean valor económico al tiempo que reduce de forma continua impacto ecológico y el uso de los recursos naturales (DeSimone & Popoff, 2000).</p>
<p><u>Tipología</u> Tecnologías ambientales Innovación organizacional Innovación en productos y servicios Sistemas de innovación verde</p>	<p><u>Tipología</u> Productividad ambiental Intensidad ambiental Rentabilidad ambiental</p>
<p><u>Medición</u> Relacionados en función del nivel y objeto de análisis, normalmente expresados como Indicadores</p>	<p><u>Medición</u> Indicadores de productividad e intensidad de materiales</p>
<p><u>Supuesto</u> La ecoinnovación en combustibles fósiles está asociada a la mayor disponibilidad de recursos, y se relaciona inversamente con las emisiones de este sector.</p>	<p><u>Supuesto</u> Se utiliza como medida que engloba la ecoeficiencia las emisiones de CO2 equivalente per cápita para el total de los combustibles fósiles, puesto que esta medida refleja la eficiencia en la gestión de las emisiones.</p>
<p><u>Variables seleccionadas</u> Puesto que los procesos de ecoinnovación se derivan de una amplia gama de acciones que puede estar o no relacionadas con la reducción de impactos ambientales, se asume como variable que mide la ecoinnovación el monto de recursos destinados a proyectos de investigación en ciencia tecnología e innovación en energía y minería, que en un sentido amplio refleja las acciones emprendidas en eficiencia energética</p>	<p><u>Variables seleccionadas</u> Se utiliza como medida que engloba la ecoeficiencia las emisiones de CO2 equivalente per cápita para el total de los combustibles fósiles, puesto que esta medida refleja la eficiencia en la gestión de las emisiones, así como el total de la extracción doméstica y el IDM de combustibles fósiles.</p>

Además de los aspectos referidos en el cuadro anterior (cuadro 37) cabe precisar que el nivel de análisis establecido es el nivel meso “sector”, puesto que se pretende establecer la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia a nivel sectorial, como se analizó con el apoyo del referente teórico del apartado anterior²⁴⁶, y el período de estudio es 1995-2010. Se establece además el análisis en este sector como complemento a las dos dimensiones²⁴⁷ establecidas en esta investigación dando mayor detalle sobre la dinámica del sector combustibles fósiles en la economía. Para la definición de las variables se toma como indicador de la ecoinnovación el monto de recursos asignados a proyectos de ciencia, tecnología e innovación en energía y minería (cifras que reporta el Observatorio Nacional de Ciencia y Tecnología), se toma este indicador como aproximación a los procesos de ecoinnovación en el sector, y se plantea además, que la ecoinnovación está asociada con el volumen total de recursos disponibles, por lo que se asume una asociación lineal directa entre IED y/o recursos de regalías para investigación y una mayor actividad de ecoinnovación, por su parte se asume que las emisiones de CO₂ equivalente del sector combustibles fósiles reflejan la ecoeficiencia del sector, la cual se ve afectada por la producción y exportación de los recursos. El cuadro 38 resume las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en el análisis.

Cuadro 38. Estadísticas descriptivas para el análisis de ecoinnovación y ecoeficiencia

Variable	\bar{x}	δ	N
CO2 eq	22.175	2.967.787	17
EDU y EDNU	600.933	56.174	17
IED	1.444.757	2.028.486	17
Regalías	700.000.000	570.000.000	17
Exportaciones	51.732	21.870	17
Inversión en CTI	5.863.137	2.392.704	17

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del OCyT y SERI. Cálculos propios. \bar{x} y δ corresponden a la media y la desviación estándar, y N indica el número de observaciones.

²⁴⁶ El planteamiento metodológico de este apartado varía levemente con relación al marco teórico expuesto en el apartado anterior, puesto que aquí se estudia un sector concreto “el de recursos energéticos”, asimismo la información para series extensas por sectores por cada parámetro de las variables de entrada es limitado debido a la carencia de datos u observaciones incompletas por variable, así como la falta de indicadores de ecoinnovación y ecoeficiencia por sectores productivos, dificultan el empleo de la metodología del apartado 5.2.2. sin embargo sirve de referente para la construcción de un enfoque que permita el análisis de la eficiencia ambiental (ecoinnovación/ecoeficiencia) a través de una aproximación de ecuaciones simultáneas.

²⁴⁷ La económico-social y la ecológico-ambiental

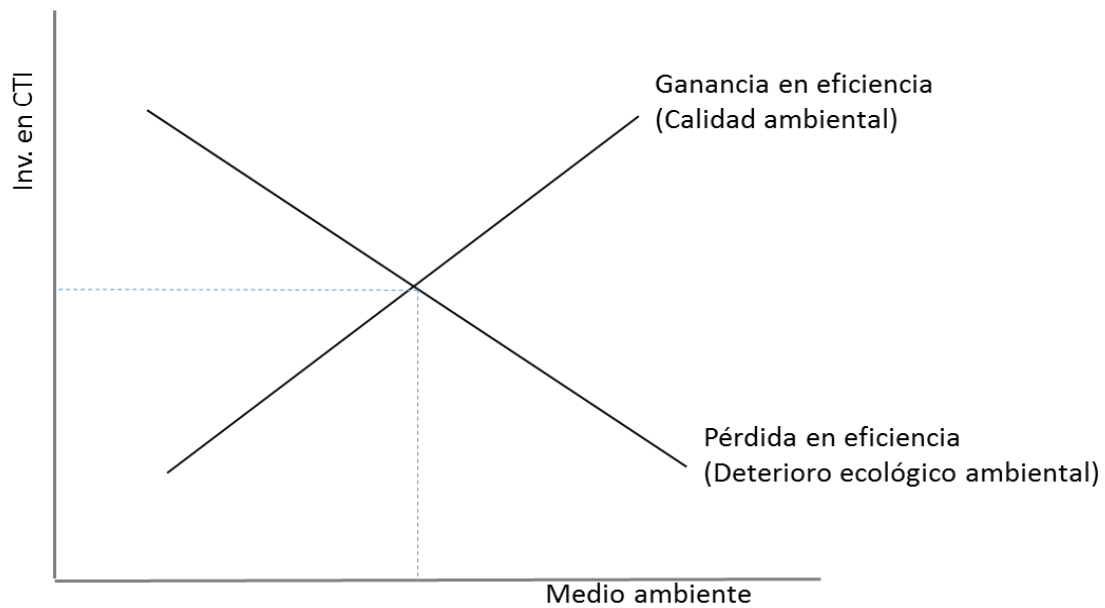


Figura 80. Ganancia y pérdida eficiencia ambiental

Nota. Elaborado por el Autor.

El razonamiento que une la ecoinnovación con la ecoeficiencia es el siguiente: la ecoinnovación se expresa como ganancia en eficiencia ambiental la cual depende de los recursos disponibles para su financiación, que a su vez están conformados por los recursos de Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, una proporción de los flujos de IED asignados a I+D+i en el sector, y una proporción de las regalías para financiar este tipo de proyectos (se incluye este supuesto ya que la Ley 1530 de 2012 establece que el 10% de las regalías provenientes de la extracción de los recursos naturales debe destinarse a un Fondo de financiación para proyectos de ciencia y tecnología). Por su parte, se asume que la disminución de la calidad ambiental (pérdida de eficiencia), se relaciona con el aumento de la actividad extractiva, expresada como aumento de la inversión productiva y las exportaciones, lo cual se relaciona de forma inversa con la ecoeficiencia, la figura 80 muestra esta relación.

Formalmente los enunciados anteriores se pueden expresar de la siguiente manera:

$$GE = f(inv, or) \quad (37)$$

Donde:

inv: inversiones

or: proporción de IED y regalías
destinadas a CTI

$$PE = f(inv, ex) \quad (38)$$

Donde:

inv: inversiones productivas

ex: exportaciones

A su vez las variables dependientes están esta relacionadas con otros determinantes como se muestra a continuación:

$$inv = \beta_0 + \beta_1 invcti + \beta_2 or \quad (39)$$

$$inv = \alpha_0 + \alpha_1 invtotal + \alpha_2 ex \quad (41)$$

$$or = \beta_3 + \beta_4 rcf + \beta_5 ied \quad (40)$$

$$ex = \alpha_3 + \alpha_4 prod + \alpha_5 pc \quad (42)$$

Donde:

invcti: inversiones en CTI

rcf: proporción de regalías para CTI

ied: proporción de IED destinada a CTI

Donde:

invtotal: proporción de la inversión total

prod: producción de comb. fósiles

pc: precio de los comb. fósiles

La ecuación (37) refleja la ganancia en eficiencia ambiental (que funciona como variable proxy de la ecoinnovación), la cual depende como se mencionó de la inversión en CTI y otras fuentes de financiación (IED y regalías), es decir que un aumento en las fuentes de financiación aumenta la ecoinnovación, por lo tanto aumenta la ganancia o eficiencia ambiental. Por su parte, La ecuación (38) refleja la pérdida en eficiencia ambiental (que funciona como proxy de la baja ecoeficiencia) y depende de la inversión productiva y las exportaciones, es decir, que un aumento de la producción o exportaciones disminuye la ecoeficiencia, por lo tanto aumenta la pérdida ambiental. Las ecuaciones (39) a (42) presentan las relaciones funcionales de las variables independientes. Y todas las ecuaciones forman un sistema de ecuaciones simultáneas en el cual la relación causa-efecto se establece a partir de la relación entre las variables dependientes y las independientes, de las cuales algunas están determinadas de forma simultánea por la variable dependiente²⁴⁸. Debido a esto el método apropiado para modelar dichas relaciones son los Modelos de Ecuaciones Simultáneas. A continuación se presenta la derivación del sistema de ecuaciones y los resultados encontrados.

Igualando las ecuaciones del sistema (37) y (38), se tiene:

$$GE = PE \quad (43)$$

$$inv, or = inv, ex \quad (44)$$

Sustituyendo (40) en (39), y la ecuación resultante reemplazándola en (37) se obtiene:

²⁴⁸ Esta interrelación entre variables explicativas y explicadas puede generar sesgos en los parámetros, por lo que la literatura especializada recomienda reducir el conjunto de variables que se determinen simultáneamente mediante el conjunto restante de variables, lo que le da el nombre de modelos de ecuaciones simultáneas. En estos modelos normalmente hay una ecuación para cada una de las variables mutuamente o conjuntamente dependientes, de nominadas variables endógenas (Gujarati & Porter, 2010, p. 673).

$$GE = \beta_o + \beta_1 invcti + \beta_2(\beta_3 + \beta_4 rcf + \beta_5 ied) \quad (45)$$

Realizando el mismo procedimiento con las ecuaciones (41), (42) y (38) se obtiene:

$$PE = \alpha_o + \alpha_1 invtotal + \alpha_2(\alpha_3 + \alpha_4 prod + \alpha_5 pc) \quad (46)$$

Igualando (35) y (36) se obtiene la ecuación estructural del modelo²⁴⁹ a partir de la cual se pueden estimar los parámetros de interés (ecuaciones estructurales) con el fin de establecer la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia en los combustibles fósiles. El procedimiento se detalla a continuación.

Ecuaciones estructurales:

$$\beta_o + \beta_1 inv + \beta_2 \beta_3 + \beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied = \alpha_o + \alpha_1 inv + \alpha_2 \alpha_3 + \alpha_2 \alpha_4 prod + \alpha_2 \alpha_5 pc \quad (47)$$

$$\alpha_1 inv - \beta_1 inv = \beta_o + \beta_2 \beta_3 - \alpha_o - \alpha_2 \alpha_3 + \beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied - \alpha_2 \alpha_4 prod - \alpha_2 \alpha_5 pc \quad (48)$$

$$inv(\alpha_1 - \beta_1) = \beta_o + \beta_2 \beta_3 - \alpha_o - \alpha_2 \alpha_3 + \beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied - \alpha_2 \alpha_4 prod - \alpha_2 \alpha_5 pc \quad (49)$$

$$inv = \frac{\beta_o + \beta_2 \beta_3 - \alpha_o - \alpha_2 \alpha_3 + \beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied - \alpha_2 \alpha_4 prod - \alpha_2 \alpha_5 pc}{(\alpha_1 - \beta_1)} \quad (50)$$

A partir de la ecuación (50) se puede establecer la ecuación reducida²⁵⁰:

$$RAM_t = \Pi_0 + \Pi_1 inv_t + \varepsilon_t \quad (51)$$

Donde:

$$\Pi_0 = \frac{\beta_o + \beta_2 \beta_3 - \alpha_o - \alpha_2 \alpha_3}{(\alpha_1 - \beta_1)} \quad (52)$$

$$\Pi_1 = \left[\frac{\beta_2 \beta_4 rcf + \beta_2 \beta_5 ied - \alpha_2 \alpha_4 prod - \alpha_2 \alpha_5 pc}{(\alpha_1 - \beta_1)} \right] \cdot inv \quad (53)$$

y ε es el término de perturbación estocástico

El sistema que se acaba de describir se modeló utilizando el estimador de Mínimos Cuadrados en tres etapas (MC3E) que resulta más eficiente al realizar las estimaciones por pasos

²⁴⁹ Para una revisión detallada de la metodología de modelos de ecuaciones simultáneas se recomienda los textos de Gujarati & Porter (2010), Greene (2003) y Wooldridge (2006)

²⁵⁰ la ecuación en forma reducida se expresa la variable endógena en términos de las variables predeterminadas y las perturbaciones estocásticas ε .

progresivos e incluir variables instrumentales para corregir los posibles sesgos de estimación²⁵¹. Por otra parte, al igual que en el capítulo dos se realizan varias estimaciones utilizando distintas medidas para dar mayor soporte a los resultados y comprobar la estabilidad del modelo, los resultados se presentan en los cuadros 39 a 41²⁵².

Cuadro 39. Modelo 1 sobre ecoeficiencia y ecoinnovación en el sector de combustibles fósiles

System: ECOINNVACIÓN-1

Estimation Method: Three-Stage Least Squares

Sample: 1995 2010

Included observations: 13

Total system (balanced) observations 26

Linear estimation after one-step weighting matrix

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-4.726013	4.598765	-1.027670	0.3177
C(2)	-2.37E-06	9.61E-07	-2.465686	0.0240
C(3)	0.124139	0.061903	2.005373	0.0602
C(4)	0.704859	0.252464	2.791916	0.0120
C(5)	1932566.	799389.2	2.417553	0.0408
C(6)	-191435.6	82355.6	-2.324500	0.0536
C(7)	235061.6	201219.3	2.568186	0.0580
C(8)	-109283.8	45074.1	-2.424536	0.1185
Determinant residual covariance		1.69E+08		

Equation: $inv = C(1) + C(2)*ted + C(3)*ied + C(4)*regal$

Instruments: C ied ied(-1) regal ex

Observations: 13

R-squared	0.605064	Mean dependent var	8.718624
Adjusted R-squared	0.473419	S.D. dependent var	0.328151
S.E. of regression	0.238126	Sum squared resid	0.510335
Durbin-Watson stat	1.936521		

Equation: $ted = C(5) + C(6)*inv + C(7)*ied(-1) + C(8)*ex$

Instruments: C ied ied(-1) regal ex

Observations: 13

R-squared	0.915007	Mean dependent var	725392.6
Adjusted R-squared	0.886676	S.D. dependent var	237811.5
S.E. of regression	80056.01	Sum squared resid	5.77E+10
Durbin-Watson stat	1.736638		

Nota. Elaborado por el Autor. Prueba de Jarque-Bera indica que los residuos son normales, p-valor: 0.4321.

C(1) y C(5) representan los términos de la constante en cada ecuación

C(2): es la extracción total de materiales y se utiliza como proxy de la ecoeficiencia

C(3): es la IED en el sector de combustibles fósiles

C(4): son las regalías en combustibles fósiles

C(6): es la inversión en proyectos de energía y minería del PNCTI (en pesos corrientes)

C(7): es la IED en el sector de combustibles fósiles rezagada un período

C(8): son las exportaciones de combustibles fósiles

²⁵¹ También se realizaron las pruebas correspondientes de identificación: condición de orden y condición de rango. La modelación se realizó utilizando el software Eviews 8.1.

²⁵² Las variables se utilizan en logaritmo natural.

El modelo anterior soluciona el sistema de ecuaciones (37) a (42), y presenta los resultados para las ecuaciones principales de forma individual, es decir para GE y PE , que representan la ecoinnovación y la ecoeficiencia respectivamente, expresadas como la ganancia en eficiencia ambiental y la pérdida en eficiencia ambiental; en el primer caso GE se interpreta como mejoras en la calidad ambiental debida a una menor utilización de recursos o un menor impacto ambiental por la reducción de emisiones de contaminantes del sector combustibles fósiles. Formalmente la ecuación de ecoinnovación se escribe como en la ecuación (54) y las estimaciones de los parámetros se presentan en la ecuación (55):

$$GE = \beta_1 + \beta_2 ted + \beta_3 ied + \beta_4 regal + \varepsilon_1 \quad (54)$$

$$GE = -4.726013 - 2.37e - 06 ted + 0.124139 ied + 0.704859 regal \quad (55)$$

Los estimadores ted , ied y $regal$ son significativos al 5%, es decir que la extracción total de materiales (usados y no usados) en combustibles fósiles (ted), la inversión extranjera directa en combustibles fósiles (ied) y las regalías en combustibles fósiles ($regal$) tienen un efecto o influencia en la variable dependiente GE expresada con la inversión en proyectos de energía y minería del PNCTI, la cual se interpreta como procesos ecoinnovadores en combustibles fósiles. Así mismo los coeficientes presentan el signo esperado *a priori*, es decir una mayor disponibilidad de recursos por IED y/o regalías se traduce en mayor financiación para proyectos de ecoinnovación (signo positivo de los dos estimadores), mientras que un aumento de la extracción de materiales se traduciría en una disminución de las capacidades de ecoinnovación (signo negativo en ted). Los resultados puntuales de los coeficientes de las variables independientes indican el cambio porcentual promedio en la variable dependiente (ecoinnovación). Por otra parte, para esta ecuación individual se presenta un ajuste aceptable $R^2=0.60$, y el estadístico de Durbin-Watson de 1.936521 indicada ausencia de autocorrelación (DW cercado a 2), lo cual valida los resultados del modelo.

En el caso de PE se interpreta como la pérdida en la calidad o rendimiento ambiental debido a una mayor utilización de recursos y/o mayores impactos ambientales por el aumento de emisiones de contaminantes del sector combustibles fósiles. Formalmente la ecuación de ecoeficiencia se escribe como en la ecuación (56) y las estimaciones de los parámetros se presentan en la ecuación (57):

$$PE = \alpha_1 + \alpha_2 inv + \alpha_3 ied + \alpha_4 ex + \varepsilon_2 \quad (56)$$

$$PE = 1932566 - 191435.6 inv + 235061.6 ied - 109283.8 rex \quad (57)$$

Los estimadores *inv* e *ied* son significativos al 10%, salvo *ex* que resultó significativa sólo al 12%, en términos generales la inversión, la IED y las exportaciones en combustibles fósiles tienen un efecto sobre la variable dependiente *PE* expresada con la extracción doméstica total de combustibles fósiles, la cual se interpreta como procesos de ecoeficiencia en combustibles fósiles. Del mismo modo, los coeficientes presentan el signo esperado *a priori*, es decir que una mayor tasa de extracción de recursos disminuye la eficiencia material (signo negativo), una mayor disponibilidad de recursos por IED se traduce en mayores proceso de ecoeficiencia (signo positivo), y a mayores exportaciones disminuye la eficiencia material (signo negativo). Los resultados puntuales de los coeficientes de las variables independientes indican el cambio porcentual promedio en la variable dependiente (ecoefficiencia). Finalmente, para esta ecuación individual se presenta un buen ajuste $R^2=0.915007$, y el estadístico de Durbin-Watson de 1.736638 indicada ausencia de autocorrelación (DW cercado a 2), lo cual valida los resultados del modelo.

Los cuadros 40 y 41 presentan otros dos modelos que en línea general presentan resultados similares a los descritos anteriormente. El modelo del cuadro 40 realiza una modificación en la ecuación de ecoeficiencia para probar la sensibilidad ante un cambio en una de las variables explicativas y el modelo del cuadro 42 reemplaza la variable extracción doméstica de materiales en combustibles fósiles por el input directo de materiales en los combustibles fósiles, como una medida alternativa de la ecoeficiencia en el sector, con el mismo propósito de probar la sensibilidad ante cambios en la especificación del modelo. En los tres modelos los estadísticos de R^2 indican buen ajuste de los modelos (salvo en la ecuación de ecoinnovación del cuadro 38), y el estadístico de Durbin-Watson en todos los casos indica la ausencia de autocorrelación. Además, para todos los modelos los coeficientes resultaron significativos. Como hecho significativo se resalta que las ecuaciones de ecoinnovación conservan la estabilidad de los signos en los tres modelos a pesar de los cambios en las ecuaciones estructurales de la ecoeficiencia. Mientras que en el caso de la ecuación de ecoeficiencia se presentó un cambio de signo en los coeficientes de la inversión y exportaciones; en el primer modelo se obtuvieron resultados negativos como se establecieron *a priori*, puesto que a mayores inversiones y/o exportaciones de combustibles fósiles se espera una menor eficiencia de los recursos (menor ecoeficiencia), sin embargo, en dos siguientes modelos estos

coeficientes presentaron un signo positivo, lo cual es inconsistente con el supuesto establecido. Aunque esto no invalida los resultados generales de los modelos, si deben prestarse atención en la forma de interpretar los resultados para la ecuaciones de ecoeficiencia.

Cuadro 40. Modelo 2 sobre ecoeficiencia y ecoinnovación en el sector de combustibles fósiles

System: ECOINNOVACIÓN-2

Estimation Method: Three-Stage Least Squares

Sample: 1995 2010

Included observations: 13

Total system (balanced) observations 26

Linear estimation after one-step weighting matrix

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-2.364801	3.688031	-0.641210	0.5290
C(2)	-2.18E-06	8.19E-07	-2.658311	0.0155
C(3)	0.169833	0.058454	2.905413	0.0091
C(4)	0.565211	0.203228	2.781166	0.0119
C(5)	-9174639.	944665.0	-9.712056	0.0000
C(6)	296228.1	83560.52	3.545073	0.0022
C(7)	663953.4	75688.45	8.772188	0.0000
Determinant residual covariance		42719076		

Equation: $inv = C(1) + C(2)*ted + C(3)*ied + C(4)*regal$

Instruments: C ied ied(-1) regal ex

Observations: 13

R-squared	0.562707	Mean dependent var	8.718624
Adjusted R-squared	0.416943	S.D. dependent var	0.328151
S.E. of regression	0.250570	Sum squared resid	0.565069
Durbin-Watson stat	2.008017		

Equation: $ted = C(5) + C(6)*inv + C(7)*ex$

Instruments: C ied ied(-1) regal ex

Observations: 13

R-squared	0.813350	Mean dependent var	725392.6
Adjusted R-squared	0.776020	S.D. dependent var	237811.5
S.E. of regression	112547.9	Sum squared resid	1.27E+11
Durbin-Watson stat	1.678134		

Nota. Elaborado por el Autor. Prueba de normalidad de Jarque-Bera indica que los residuos son normales, p-valor: 0.1472.

C(1) y C(5) representan los términos de la constante en cada ecuación

C(2): es la extracción total de materiales y se utiliza como proxy de la ecoeficiencia

C(3): es la IED en el sector de combustibles fósiles

C(4): son las regalías en combustibles fósiles

C(6): es la inversión en proyectos de energía y minería del PNCTI (en pesos corrientes)

C(7): son las exportaciones de combustibles fósiles

Cuadro 41. Modelo 3 sobre ecoeficiencia y ecoinnovación en el sector de combustibles fósiles

System: ECOINNVACIÓN-3

Estimation Method: Three-Stage Least Squares

Sample: 1995 2010

Included observations: 13

Total system (balanced) observations 26

Linear estimation after one-step weighting matrix

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	14.75733	5.352896	2.756887	0.0122
C(2)	-1.712351	0.811516	-2.110063	0.0476
C(3)	0.664989	0.224159	2.966594	0.0076
C(4)	2.721980	0.493023	5.520995	0.0000
C(5)	0.159979	0.045214	3.538274	0.0021
C(6)	0.659943	0.038652	17.07376	0.0000
Determinant residual covariance		3.46E-05		

Equation: $inv = C(1) + C(2)*idm + C(3)*regal$

Instruments: C ied ied(-1) regal ex

Observations: 13

R-squared	0.421626	Mean dependent var	8.718624
Adjusted R-squared	0.305951	S.D. dependent var	0.328151
S.E. of regression	0.273381	Sum squared resid	0.747374
Durbin-Watson stat	1.731614		

Equation: $idm = C(4) + C(5)*inv + C(8)*ex$

Instruments: C ied ied(-1) regal ex

Observations: 13

R-squared	0.951786	Mean dependent var	11.38991
Adjusted R-squared	0.942143	S.D. dependent var	0.220890
S.E. of regression	0.053132	Sum squared resid	0.028230
Durbin-Watson stat	2.405433		

Nota. Elaborado por el Autor. Prueba de normalidad de Jarque-Bera indica que los residuos son normales, p-valor: 0.2510.

C(1) y C(4) representan los términos de la constante en cada ecuación

C(2): es el Input Directo de Materiales (IDM) de combustibles fósiles y se utiliza como proxy de la ecoeficiencia

C(3): son las regalías en combustibles fósiles

C(5): es la inversión en proyectos de energía y minería del PNCTI (en pesos corrientes)

C(6): son las exportaciones de combustibles fósiles es la IED en el sector de combustibles fósiles

Por otra parte, los resultados del modelo presentado en el cuadro 40, siguen la misma línea de interpretación que en el caso anterior puesto que se utilizan las mismas variables endógenas (inversiones en CTI y extracción doméstica total en combustibles fósiles). En cuanto al modelo del cuadro 41 si presenta una modificación puesto que en este caso se utiliza el IDM en combustibles fósiles; la ecuación de ecoinnovación se expresa como:

$$GE = \beta_1 + \beta_2 idm + \beta_3 + \varepsilon_3 \quad (58)$$

$$GE = 14.75733 - 1.712351 idm + 0.6649899 regal \quad (59)$$

En esta caso el input directo de materiales en combustibles fósiles influye de manera negativa sobre el rendimiento ambiental, mientras que la proporción de regalías destinadas a la financiación de proyectos en I+D+i en combustibles fósiles incrementa la eficiencia o rendimiento ambiental, es decir que el IMD se relaciona inversamente con los proceso de ecoinnovación mientras que I+D+i se relaciona de forma positiva.

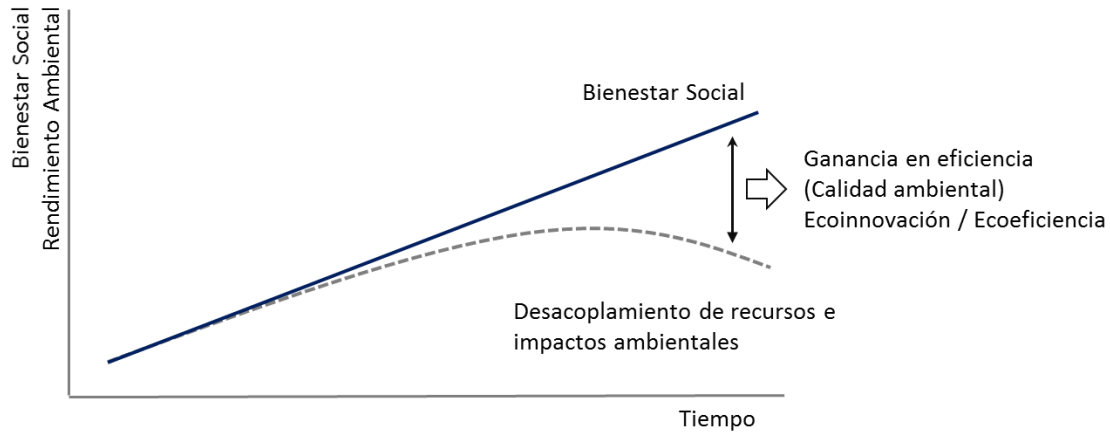


Figura 81. Esquema conceptual de desacoplamiento basado en ecoinnovación

Nota. Elaborado por el Autor.

Aunque los resultados expuestos no son definitivos o no se pueden entender como conclusivos en un sentido amplio, si son válidos para establecer la relación entre la ecoinnovación y la ecoeficiencia en el sector de los recursos naturales energéticos, y sirven de soporte para argumentar la premisa de que una asignación eficiente de la inversión y la buena gobernanza sobre los recursos naturales contribuye significativamente al despliegue de procesos de ecoinnovación que permitan dar un salto cualitativo en el modelo de desarrollo de Colombia, que aunque sigue basándose en el extractivismo de recursos, al incorporar mecanismos de ecoinnovación y ecoeficiencia se puede revertir la tendencia actual de bajo o nulo desacoplamiento de recursos e impactos, dicho de otro modo, se contribuye al logro de un desarrollo más sostenible, como se puede observar en la figura 81.

Finalmente aunque este análisis se realizó en el nivel meso, los resultados son consistente con otras investigaciones que exploran los mecanismos de ecoinnovación en el nivel micro, como

por ejemplo las investigaciones de Cai & Zhou (2014); Cuerva, Triguero-Cano, & Córcoles (2014); Horbach (2008); Yu et al., (2013), Santamaría, Nieto, & Barge-Gil (2009), y Font Vivanco, Kemp, & van der Voet (2015). Los resultados también son consistentes con otras investigaciones en ecoeficiencia, tale como Brennan & Palmer (2013), Costa-Campi et al. (2015), Guenster et al. (2011), Helminen (2000) y Lucato, Júnior, & da Silva (2013).

5.3. DESMATERIALIZACIÓN Y DESACOPAMIENTO DE LA ECONOMÍA

Los resultados expuestos en los capítulos dos a cuatro presentan un evidencia clara de las tendencias de reacoplamiento de recursos físicos y de impactos, además han sido validados de forma más robusta con el desarrollo de los modelos de ecoinnovación y ecoeficiencia del apartado anterior, dado que tanto el coeficiente de la extracción doméstica total como el coeficiente del input directo de materiales (ambos para el sector de combustibles fósiles), presentan un signo negativo, es decir que afectan negativamente el desarrollo de procesos ecoinnovadores²⁵³.

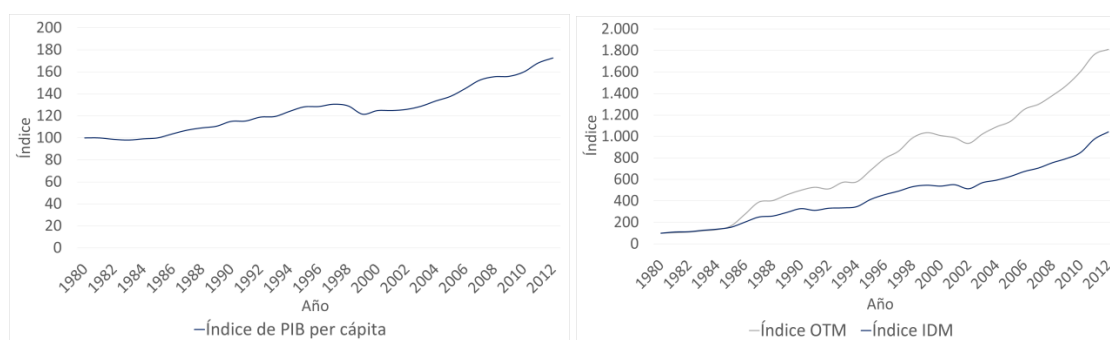


Figura 82. Índices de PIB per cápita, IDM y OTM

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del Banco Mundial. Bases de datos: Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI). Versión: febrero de 2015. Cálculos propios.

La figura 82 muestra los índices (base 1980) del PIB per cápita y el IDM y OTM para el conjunto de los combustibles fósiles, dejando claro la afirmación del párrafo anterior; mientras que el PIB per cápita entre 1980 y 2012 creció cerca de 80%, el IDM y OTM crecieron más de 600% y 1500% respectivamente, con relación a 1980, lo cual deja claro el gran peso ecológico-ambiental que ha tenido el modelo de desarrollo convencional de Colombia. Otros trabajos investigaciones como las de Pérez (2003, 2006a) y Vallejo et al., (2011) que utilizan la contabilidad del flujo de materiales y sus indicadores asociados para la totalidad de los flujos

²⁵³ Los resultados de la curva ambiental de Kuznets en el apartado 2.4.1, también validan esta tendencia desde el análisis de las emisiones de contaminantes de los combustibles fósiles.

materiales y a nivel de país llegan a conclusiones similares sobre la tendencias deficitarias de desacoplamiento de la economía colombiana, otro trabajo relevante es el de West & Schandl (2013), que realizan un estudio similar para una muestra de países de Latinoamérica entre los que se encuentra Colombia, y sus resultados son consistentes en términos generales con la baja tendencia de desacoplamiento.

Para reafirmar lo expuesto se presentan los indicadores de intensidad de material a partir del IDM y el OTM, los cuales reflejan las tendencias expuestas anteriormente; puesto que la intensidad de materiales mide las unidades de materiales o energía por unidad monetaria (en este caso PIB per cápita constante), por lo que se espera una disminución del indicador, puesto que esto indicaría que se utiliza una menor unidad de imputo (material o energía) por unidad de producción, reflejando así el rendimiento o eficiencia ambiental.

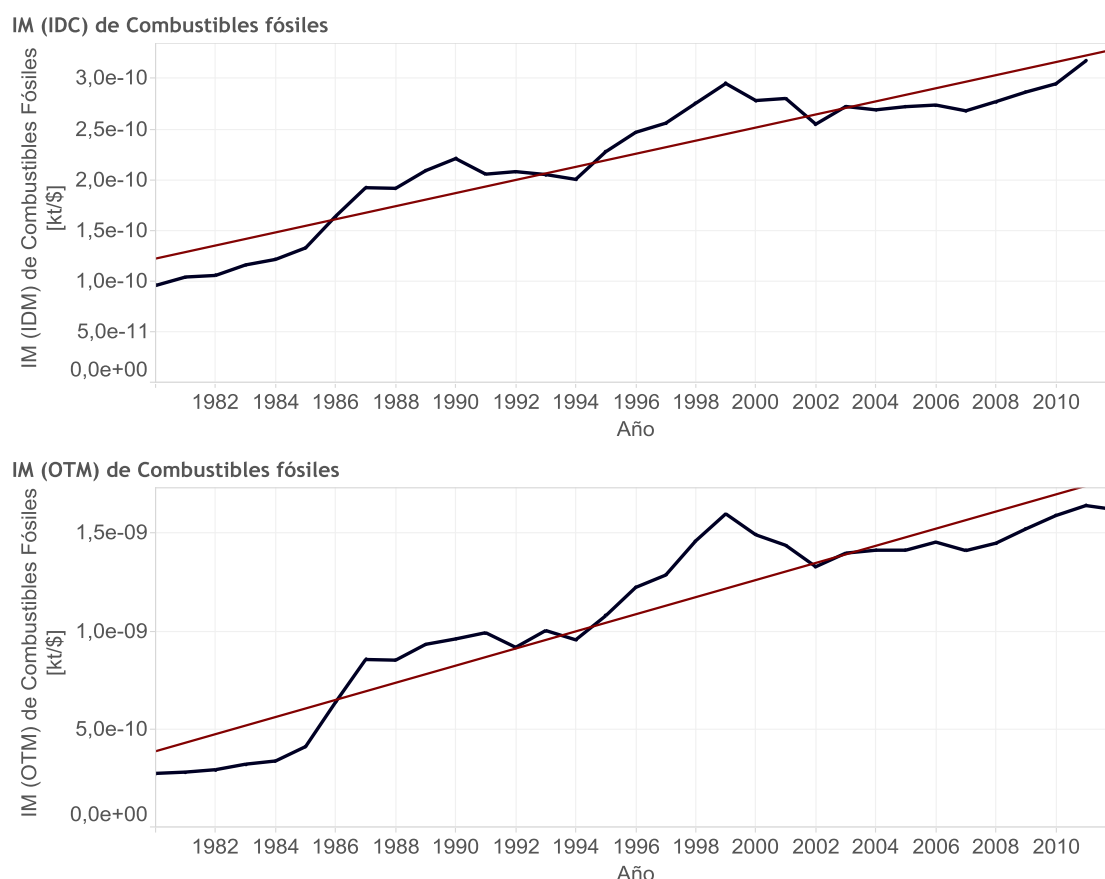


Figura 83. Intensidad de materiales (combustibles fósiles)

Nota. Elaborado por el Autor a partir de estadísticas del SERI, base de datos: Global Material Flows. Versión: junio de 2015. Cálculos propios.

No obstante, la tendencia que se presenta es la contraria, es decir que cada período se utiliza una mayor cantidad inputs de combustibles fósiles y de emisiones de contaminantes derivados

de ellos por lo que los recursos energéticos no contribuyen a la desmaterialización y desacoplamiento (figura 83).

CAPÍTULO SEXTO

6. CONCLUSIONES

6.1. RESULTADOS Y PRINCIPALES APORTACIONES

Los resultados a los que se llegaron en el desarrollo de los distintos capítulos de la tesis soportan el planteamiento de las conclusiones y aportaciones presentadas en esta sección, y se corresponden con el planteamiento metodológico inicial, es decir, que el desarrollo del capítulo dos responde al objetivo específico, hipótesis y preguntas de investigación relacionadas con la dimensión económico-social, mientras que el desarrollo de los capítulos tres a cinco responden a los objetivos específicos, hipótesis y preguntas de investigación relacionadas con la dimensión ecológico-ambiental.



Figura 84. Esquema metodológico para el desarrollo de la dimensión económico-social

Nota. Elaborado por el Autor.

La figura 84 muestra el vínculo entre hipótesis, preguntas y objetivos específicos en la dimensión económico-social, el hilo conductor que une estos aspectos corresponde a los distintos epígrafes del capítulo dos que responden a la pregunta de investigación evidenciado que la dependencia de recursos naturales energéticos si determina el ritmo de crecimiento de la economía colombiana además de incidir en el comportamiento asimétrico de los departamentos; respuesta a la que se llega realizando la comprobación de las hipótesis a través del empleo de herramientas y métodos econométricos y de dinámica de sistemas, cumpliendo de esta manera con el objetivo específico correspondiente. Por otra parte, La figura 85 presenta el mismo esquema “vínculo entre hipótesis, preguntas y objetivos específicos” para el correspondiente bloque de la dimensión ecológico-ambiental, en este caso el eje articulador entre los tres elementos corresponde a los distintos epígrafes de los capítulos tres a cinco.

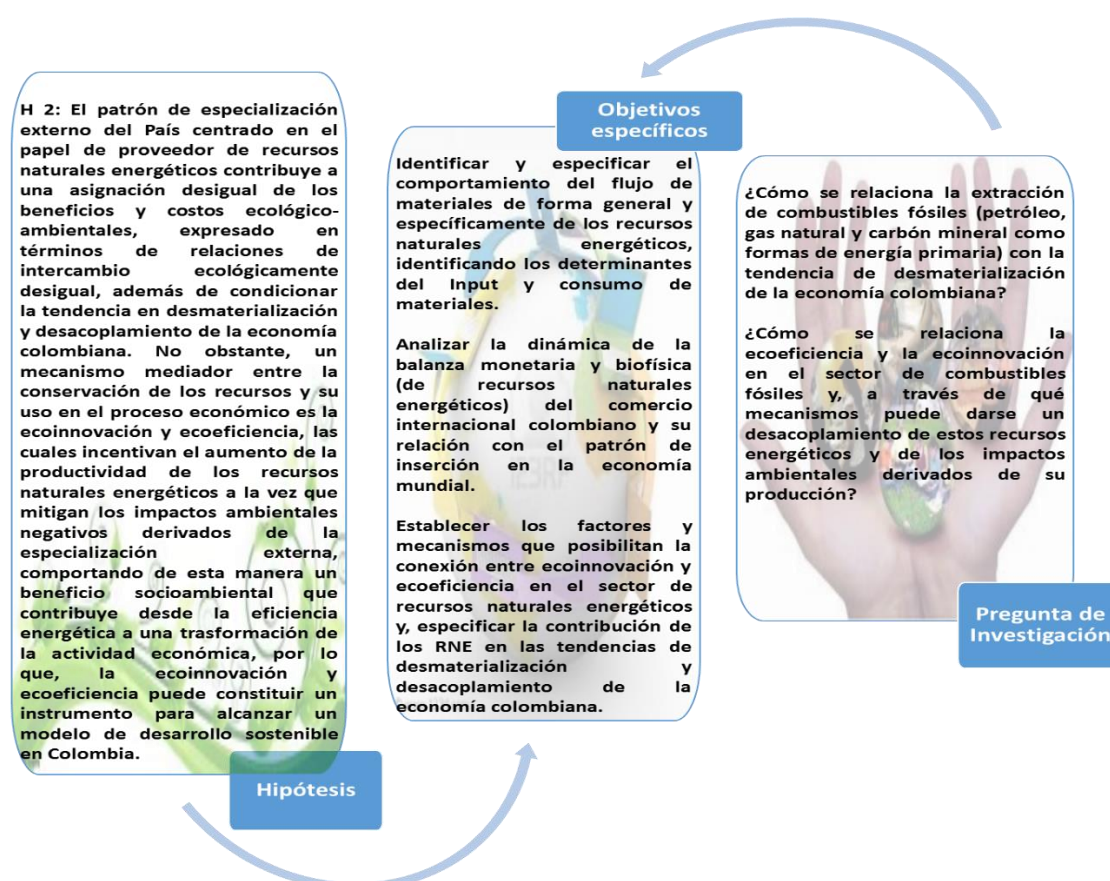


Figura 85. Esquema metodológico para el desarrollo de la dimensión ecológico-ambiental
Nota. Elaborado por el Autor.

En este caso se responde a las preguntas de investigación estableciendo que la especialización productiva y exportadora de combustibles fósiles genera presiones sociales y ambientales que

se incrementan por la dinámica de crecimiento del modelo extractivista de recursos naturales, lo que se traduce en la ausencia de tendencias de desacoplamiento de impactos y recursos, adicionalmente, la ecoinnovación representa un instrumento significativo para realizar transformaciones productivas que permitan dar un salto cualitativo que contribuya desde la perspectiva de la energía y los recursos naturales energéticos en el alcance del desarrollo sostenible en Colombia. El mecanismo que posibilita esta dinámica de la ecoinnovación son los incentivos para el desarrollo de iniciativas tanto de conversión tecnológica como de sistemas de gestión ambiental, es decir, que el diseño de políticas públicas orientadas a esta finalidad juega un papel relevante. A través de la comprobación de las distintas hipótesis de este bloque utilizando para este punto la metodología del análisis del flujo de materiales y sus indicadores relacionados, los términos de intercambio ecológicos y la modelación de la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia, se sustenta el cumplimiento de los objetivos específicos en este bloque.

De esta forma a partir de la articulación y respuesta a las preguntas de investigación, hipótesis y objetivos específicos de las dos dimensiones que componen la investigación, se consigue dar cumplimiento al objetivo general, el cual consiste en “Establecer los impactos, elementos determinantes y mecanismos de transmisión de los combustibles fósiles, en el desarrollo, el crecimiento económico y el flujo de materiales de la economía colombiana en el período 1990-2010, así como identificar su relación en el proceso de desmaterialización y desacoplamiento, como fundamentos de soporte en la definición de una estrategia de desarrollo sostenible para el país”.

Finalmente cabe mencionar que los resultados están delimitados por el alcance de la investigación (como se expone en el numeral 6.3), no obstante, se abre la posibilidad a otras oportunidades de explorar nuevos proyectos que permitan responder a otras preguntas de investigación, relacionadas con el objeto de estudio de esta investigación

6.1.1. Sobre la tendencia e impacto de los combustibles fósiles en el desarrollo y las unidades territoriales

El modelo productivo basado en el extractivismo de recursos naturales ha generado asimetrías entre las distintas regiones del país, acentuadas por la ineficiencia en la gestión pública territorial para financiar el desarrollo regional, además el agotamiento de las rentas

de estos recursos en el largo plazo agudiza las condiciones socioeconómicas de los entes territoriales.

- **Los modelos predominantes de inserción en la economía mundial como la sustitución de importaciones y crecimiento hacia afuera (apertura económica), condicionaron el papel primario exportador de Colombia.** La evolución de los combustibles fósiles en la economía colombiana estuvo influenciada por las distintas fases del desarrollo a escala mundial, es decir, que las tendencias de la economía mundial se reprodujeron en el país demarcando la estructura económica, política y la forma de inserción en el contexto internacional. De esta forma, se observa que durante el período de sustitución de importaciones el marco regulatorio cambiario, de capitales y comercial fue más estricto, desalentando la entrada de capitales y el comercio exterior, lo cual se manifestó en el comportamiento de las exportaciones de los hidrocarburos y del carbón que aunque fueron importantes ocupando el segundo lugar, sus niveles no fueron tan representativos como en el caso de las exportaciones del café. Mientras que el cambio de modelo basado en la liberalización económica, privatizaciones desregulación y flexibilización favoreció la entrada de grandes flujos de inversión extranjera y de comercio exterior; dinámica en la que los combustibles fósiles ha logrado ocupar el predominio acumulando en la última década la mayor participación de IED (54% del total) y de las exportaciones del país (75% del total), de igual manera, el saldo positivo de la balanza comercial en los últimos años ha sido soportado por el superávit en la balanza de los combustibles fósiles; lo contrario de lo que ha ocurrido con la balanza comercial de las manufacturas que ha acumulado un déficit permanente y creciente desde principios de los años noventa.
- **El marco normativo que rigió el sector de hidrocarburos y carbón de forma general y sobre la distribución de las regalías en particular (Leyes 141 de 1994, 685 de 2001 y 756 de 2002), ocasionaron grandes desigualdades entre los distintos departamentos productores y no productores,** situación agudizada por la distribución geográfica de los recursos, y reflejada en el reparto asimétrico de las regalías: el 81% de la distribución de regalías se concentró en sólo siete departamentos que representan apenas el 18% de la población del país, lo que a su vez se ha reflejado en los indicadores socioeconómicos como el coeficiente de Gini, el índice de necesidades básicas insatisfechas y la incidencia de la pobreza, que han presentado peores resultados en aquellos departamentos con la mayor proporción en la distribución de regalías y en cuya estructura productiva los combustibles fósiles son la principal actividad (el PIB minero energético representa la

mayor proporción por sectores). Asimismo, en términos de convergencia, los departamentos con mayor presencia de combustibles fósiles tienden a ubicarse por debajo del promedio nacional del PIB per cápita y por debajo del promedio nacional de la tasa de crecimiento del PIB, lo que los hace los menos dinámicos en comparación con otros departamentos no dependientes de las rentas de hidrocarburos y carboníferas.

- **La dinámica de la economía es responsable del aumento en el consumo de energía, en la que los combustibles fósiles han ganado una mayor participación en años recientes.** La participación de los combustibles fósiles en la producción y consumo de energía es alta, debido a que representan la mayor proporción de las fuentes de energía primaria, además la generación de energía a partir de petróleo, gas natural y carbón presenta una ligera tendencia de crecimiento. Por lo que su influencia en el uso de la energía se destaca, no obstante, la relación entre energía y desarrollo, es decir, el uso más intensivo de energía a mayor actividad económica, se explica por una relación causal de largo plazo que va del ingreso (PIB per cápita) a la energía (producción y consumo), lo que indica que es la dinámica de crecimiento de la economía lo que explica la evolución del consumo de energía a partir de los combustibles fósiles y no al revés, este resultado se corresponde con la evolución reciente del país, puesto que el modelo aperturista que incentivó las exportaciones e importaciones industriales y minero energéticas requirió un uso más intensivo de recursos (incluyendo la energía).
- **En el largo plazo la curva de producción de los recursos energéticos tiende a disminuir incidiendo de manera directa en la reducción de las rentas de estos recursos, y por consiguiente de la capacidad para financiar con estos recursos el desarrollo regional.** La simulación a través de dinámica de sistemas del comportamiento de la producción de hidrocarburos y carbón en el largo plazo describe una tendencia descendente, reflejando la curva de Hubbert o pico de los recursos. Este resultado describe un escenario futuro previsible a pesar de que se modifiquen los parámetros del modelo por un cambio en la tecnología o en el volumen de reservas totales, por lo que la tendencia a largo plazo no se modifica, es decir, que la desaceleración y posterior decrecimiento de la producción (“pico” de los recursos energéticos) ocurrirá en algún período de tiempo. Lo cual tiene implicaciones directas para el país y para sus departamentos, puesto que la dependencia de las exportaciones de carbón y petróleo es bastante elevada, y a nivel regional son varios los departamentos que basan su actividad económica en estos recursos lo que los hace a su vez dependientes de las rentas percibidas por estos recursos, que en el caso de algunos

departamentos son los principales receptores de regalías, y una progresiva disminución de sus ingresos primario energéticos ocasionaría dificultades mayores para para financiar el desarrollo local.

- **La relación inversa entre crecimiento económico y exportaciones de combustibles fósiles puede ser revertida con un fortalecimiento de las instituciones y una buena gobernanza sobre estos recursos.** Se halló una relación inversa y estadísticamente significativa entre el crecimiento económico y las exportaciones de combustibles fósiles, tanto a nivel nacional como departamental, sin embargo, se presenta esta relación por la influencia del canal institucional, es decir que las débiles condiciones institucionales de Colombia afectan la eficiencia de las rentas de los recursos primario energéticos para estimular el crecimiento y desarrollo del país, en otros términos, el fortalecimiento institucional y la adecuada gobernanza sobre los recursos naturales pueden revertir el efecto negativo de las exportaciones primario energéticas convirtiendo la maldición de recursos en una bendición, parafraseando a autores como Arezki, Fanelli, Bauquiero y van der Ploeg entre otros. Por otra parte, al utilizar distintas medias sobre los recursos naturales energéticos (dependencia y abundancia de recursos) se encontró que igualmente se presentaba evidencia a favor de la relación inversa. No obstante, al utilizar una medida para cada combustible fósil se halló que la dependencia o abundancia de carbón no presentaba evidencia de un signo negativo, lo cual puede sustentarse en que estos recursos tienen un menor peso que el de los hidrocarburos en el conjunto de las exportaciones, además el petróleo genera un mayor efecto de contagio por la volatilidad de los precios y mayores encadenamientos productivos.
- **El cumplimiento parcial de la curva de Kuznets no muestra señales de una tendencia hacia el desacoplamiento de impactos ambientales por combustibles fósiles.** El comportamiento de las emisiones de CO₂ de consumo y totales de los combustibles fósiles a través de la curva ambiental de Kuznets (CAK) descrito en todos los modelos realizados reflejan un cumplimiento parcial, es decir, que la trayectoria de las emisiones en forma de U invertida ocurre a medida que el nivel de ingreso se eleva, sin embargo, se presenta un siguiente punto de quiebre en la trayectoria de las emisiones, por lo que estas retoman la tendencia de crecimiento exhibiendo una evolución conjunta con el crecimiento económico, lo cual presenta evidencia de que la economía no ha desacoplado los impactos ambientales del crecimiento de la economía. Esta tendencia se corrobora desde los resultados de la dimensión biofísica.

6.1.2. Sobre la calidad ambiental y el impacto físico de los combustibles fósiles en el flujo de materiales y la balanza comercial biofísica

El patrón primario exportador de la economía colombiana agudiza las condiciones ecológico-ambientales del país y obstruye el logro tendencias en desacoplamiento de recursos e impactos, haciendo que este modelo de desarrollo sea insostenible.

- **La extracción de recursos del subsuelo representa la principal actividad en la extracción doméstica de materiales corroborando la especialización primario intensiva de la economía colombiana en recursos como los energéticos de origen fósil.** La principal participación en la extracción doméstica utilizada (EDU) correspondió a la biomasa seguida por los combustibles fósiles, no obstante, el acumulado de estos últimos junto a los minerales metálicos, y minerales industriales y de construcción, representaron más del 65% de la EDU, dejando ver de esta manera el peso de los recurso minero energéticos en el flujo de materiales. Dentro de la composición de los combustibles fósiles el carbón tuvo la mayor participación seguido por el petróleo y en menor proporción por el gas natural. Además, en términos comparativos el carbón fue el recurso con mayor extracción tanto usada como no usada, aunque con una gran diferenciación entre las dos categorías; mientras que la EDU de carbón presentó un acervo de 1.080.501 kt entre 1980 y 2011, en la extracción doméstica no usada (EDNU) el acervo fue de 12.955.206 kt, lo cual evidencia el desaprovechamiento de este recurso, así como el impacto ecológico por la pérdida no utilizada de recursos. De igual manera, el comportamiento físico de los combustibles fósiles se corresponden con la dinámica de las exportaciones del país, así como con la tendencia a la especialización primario intensiva de la economía colombiana (minero energética).
- **Tanto los indicadores de input, consumo, como los de output presentaron una acelerada tendencia de crecimiento, mostrando de esta manera el aumento de la presión ambiental sobre los recursos y el medio ambiente.** La composición del input directo de materiales (IDM) revela que del total del flujo de materiales (y en especial de los combustibles fósiles) que ingresan a la actividad económica nacional, cerca del 80% proviene de la EDU. Del mismo modo los indicadores de requerimiento total de materiales (RTM), consumo doméstico de materiales (CDM) y consumo total de materiales (CTM) que

reflejan la cantidad de recursos que entran en la economía también evidenciaron tendencias crecientes revelando el excesivo peso de la base material en la estructura económica del país, en especial sobre los combustibles fósiles en los cuales el CTM y el RTM crecieron a una tasa mayor que los indicadores a nivel agregado. Por su parte, los indicadores de outputs también exhibieron una tendencia creciente a partir de 1990. Todo esto evidencia el grado de presión ambiental al que está expuesta la economía colombiana tanto por las emisiones como por las pérdidas que recibe el medio ambiente, además del expolio ecológico por la alta tasa de extracción de los recursos.

- **Los indicadores asociados al análisis del flujo de materiales muestran señales clara de una rematerialización de la economía.** Los indicadores de productividad de materiales total y de los combustibles fósiles no reflejan una incidencia significativa en la productividad de los inputs, puesto que la tendencia del indicador fue decreciente, mientras que los indicadores de intensidad de materiales para combustibles fósiles indica una clara tendencia de rematerialización de la economía en lo referente a estos recursos energéticos, dejando ver así que en la economía colombiana no hay una tendencia clara de desacoplamiento de recursos. Este hecho también se constata al comparar las emisiones de CO₂ junto al IDM, puesto que los dos indicadores incrementan sustancialmente reforzando el planteamiento de la ausencia de una tendencia tanto de desmaterialización de recursos como de desacoplamiento de impactos ambientales derivados de la extracción y uso de combustibles fósiles, es decir que Colombia en las últimas tres décadas ha agudizado su posición biofísica tanto por la extracción de materiales como por la emisión de contaminantes.
- **Desde el punto de vista biofísico Colombia se ha posicionado como un exportador neto de combustibles fósiles.** En este sentido la balanza comercial física (BCF) ha exhibido un creciente déficit soportado prácticamente en su totalidad por los combustibles fósiles, acumulando un déficit comercial equivalente 1.119.467 kt entre 1980 y 2012. Este comportamiento de la BCF corrobora el patrón primario exportador de la Economía colombiana, patrón que ha sido relevante para explicar las presiones ecológicas y las desigualdades derivadas del comercio internacional, puesto que de un lado, refleja la presión ecológica que se ejerce sobre el territorio nacional, en especial durante la etapa del proceso extractivo de los recursos naturales, como el agotamiento de los recursos, la modificación del entorno y del uso del suelo, y la generación de emisiones conexas al proceso extractivo, y de otro lado, el valor medio por tonelada importada no sólo ha sido

superior sino que además ha presentado una tendencia de crecimiento, mientras que el precio medio por tonelada exportada a exhibido una progresiva disminución, lo que se traduce en que cada vez se debe pagar más por tonelada importada a la vez que se recibe menos divisas por cada tonelada exportada; un comportamiento similar presenta el precio medio por tonelada exportada de petróleo y de carbón, es decir que cada período se reciben menos divisas por la misma cantidad de tonelada exportada estos recursos. Todo esto se traduce en un deterioro de los términos de intercambio, o dicho de otro modo, el patrón del comercio internacional ocasiona una relación de intercambio desigual en el que los costos sociales y ambientales no son compensados: el país exporta riqueza natural e importa deterioro ambiental.

- **No existen mecanismos de compensación por la extracción intensiva de combustibles fósiles.** Derivado del punto anterior se concluye también la necesidad de tomar medidas correctivas sobre la presión ambiental causada por el comercio internacional, en este punto el precio de las exportaciones de recursos minero energéticos debe reflejar mecanismos correctores para compensar la pérdida ecológica y reparación ambiental, para lo cual se podría evaluar la inclusión de tasas o impuestos por tonelada de recurso exportado.

6.1.3. Sobre la relación entre ecoinnovación y ecoeficiencia en el sector de combustibles fósiles, y su incidencia en la política de Desarrollo Sostenible del País

- **La ecoinnovación y ecoeficiencia aunque contribuyen al desacoplamiento de impactos y recursos, se encuentran en un estado poco desarrollado en el país.** Todos los indicadores relacionados con la ciencia, tecnología e innovación en el sector de energía y mineral presentaron bajos niveles en comparación con otros campos de conocimiento, lo que influye en que el desarrollo de mecanismos de ecoinnovación y ecoeficiencia tengan un bajo rendimiento.
- **Las ganancias ecoinnovación y ecoeficiencia deben gestionarse adecuada mene para no generar efectos Efecto rebote.** El diseño mecanismos de control y una política adecuada de la gestión de los recursos energéticos puede contribuir no sólo a que se obtengan ganancias en el rendimiento ambiental dedicadas de procesos ecoinnovadores, sino que además, pueden contribuir a identificar de forma temprana los posibles riesgos por el efecto rebote, es decir, a pesar de generar procesos ecoinnovadores que reduzcan los

impactos, el aumento en el consumo de los recursos puede soslayar las ganancias en eficiencia por lo que el acompañamiento de políticas de producción y consumo son igualmente necesarias.

- **La inclusión de los criterios de ecoinnovación y ecoeficiencia son necesarios para el diseño de una política de desarrollo sostenible.** El principal mecanismo articulador de la ecoinnovación y la ecoeficiencia es la asignación eficiente de los recursos para inversión en ciencia tecnología e innovación (CTI). Por lo que la gestión pública en la obtención y distribución de recursos debe fortalecerse, además, debe involucrarse a los actores privados en los programas de financiación de CTI.

Tanto las conclusiones desde la dimensión socioeconómica como desde la biofísica resaltan la necesidad de incorporar los principios operativos de la sostenibilidad por medio de procesos de eficiencia, desacoplamiento e innovación que permitan dar saltos cualitativos (sin tener que repetir el modelo convencional de la curva ambiental de Kuznets) para acelerar la consecución de un modelo de desarrollo sostenible de mayor valor añadido en Colombia

6.2. MARCO DE APLICACIÓN

6.2.1. Aplicación de indicadores de presión (en combustibles fósiles) como instrumentos de medida en la dimensión ambiental del desarrollo sostenible

- Los indicadores de la metodología del análisis del flujo de materiales, así como los indicadores derivados de ésta como el input directo de materiales (IDM), el requerimiento total de materiales (RTM), el consumo doméstico de materiales (CDM), el consumo total de materiales (CTM), el output nacional procesado (ONP), el output total de materiales (OTM), la productividad de materiales (PM) y la intensidad de materiales (IM) constituyen una batería de indicadores importantes para analizar las tendencias de desmaterialización de la economía, así como del desacoplamiento de impactos tanto a nivel agregado como en el caso de los combustibles fósiles, por lo que su inclusión en el diseño de la política de desarrollo sostenible como medidas del grado de presión sobre el espacio ambiental del país debe ser un objetivo primordial, asimismo, estos indicadores podrían ser aplicados a la totalidad del sector minero energético, por lo que también podrían hacer parte de la política sectorial definida por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, para evaluar

los niveles de extracción y contaminación por período con el fin de regular el sector incluyendo la perspectiva de sostenibilidad.

- La inclusión de la relación de los términos de intercambio ecológicos también constituye un aspecto importante como indicador de tendencias de sostenibilidad desde el comercio internacional, puesto que este factor representa un elemento de presión sobre el medio ambiente. En este sentido los indicadores de precio por tonelada exportada puede ser ajustados con mecanismo corrector (vía tasas) que permita compensar y reparar el deterioro ecológico derivado de la extracción y comercialización de los recursos.

6.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- La delimitación del análisis dentro de la cadena productiva de los recursos energéticos se centró en el nivel *up stream* (evaluación, exploración, extracción, producción y reservas), por lo que el alcance de la investigación no consideró el nivel *down stream* (transformación y generación secundaria a partir de los combustibles, es decir, todas las actividades realizadas entre la carga de crudo hacia la terminal de transporte y el consumo de derivados por el usuario final), por lo que los resultados de esta investigación sobre los impactos económicos y ecológicos se limitan al primer nivel. No obstante, *a priori* la inclusión del segundo nivel en el análisis corroboraría los resultados sobre el peso ambiental de los combustibles fósiles, así como la ausencia de una tendencia de desacoplamiento de la economía colombiana.
- El análisis del output en el análisis del flujo de materiales (AFM) se realizó utilizando las emisiones de CO₂ equivalentes, es decir el agregado de las emisiones dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) derivadas de los combustibles fósiles, sin embargo, se reconoce que un análisis más detalla del output en el AFM debe incorporar las distintas emisiones de forma individual, además de otros efectos ecológicos adversos como la modificación del entorno y del uso del suelo no incluidos por la limitación de información para construir series históricas lo suficientemente extensas para utilizarlas dentro de la metodología empleada, así como otros indicadores de estado de la degradación ecológica y la contaminación como la huella hídrica asociada a los hidrocarburos y el carbón.

- Los resultados en el apartado de la curva de Hubbert (numeral 2.4.3.) deben ser interpretados como el comportamiento de la tendencia futura de largo plazo y no como estimaciones puntuales, debido a que los valores estimados en las simulaciones aunque están basados en parámetros calibrados y ajustados a los valores reales para la modelación, podrían alterarse por modificaciones en el marco normativo del país o cambios técnicos del sector como cambios en la tecnología utilizada o modificaciones en el mercado que alteren la demanda, los precios, la inversión o cualquier otra variable que cambie el comportamiento de los parámetros incluidos en la modelación (como la modificación de las reservas recuperables finales), asimismo, metodológicamente se utilizó una función logística siguiendo el referente teórico de Hubbert (1956), aunque en la literatura especializada se encuentran otros métodos como las funciones probabilísticas o bimodales que por construcción puede llevar a valores puntuales distintos a los de la función logística aunque se utilicen los mismos valores de entrada, no obstante, en términos de tendencia de largo plazo todos los métodos siguen la misma trayectoria.

- El análisis de la relación de intercambio desigual se realizó utilizando los términos de intercambio a nivel total en el sentido de Prebisch, y en el caso concreto de los combustibles fósiles se utilizó el valor promedio en dólares constantes por tonelada exportada, los cuales sirven como una buena aproximación de la relación de intercambio desigual, sin embargo, para un análisis más detallado las relaciones comerciales biofísicas es recomendable revisar la relación por grupo de países identificando así las asimetrías entre Norte y Sur.

- El análisis de las relaciones entre ecoinnovación y ecoeficiencia no puede ser interpretado como resultados definitivos o genéricos, estos representan una aproximación que permite identificar los mecanismos articuladores en el sector de combustibles fósiles, sin embargo se reconoce que un análisis más detallado debe incluir las interacciones entre sectores, así como la inclusión del efecto de las relaciones comerciales con otros países, puesto que el estado del medio ambiente y el crecimiento económico son a la vez una gran influencia de las relaciones económicas con el resto del mundo.

6.4. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

- La metodología utilizada en esta investigación puede ser extrapolada al nivel *down stream* para profundizar en los impactos socioeconómicos y ecológico ambientales en toda la cadena productiva de los combustibles fósiles.
- Los resultados de la investigación sirven de base para estudios futuros sobre la forma de involucrar los hidrocarburos, el carbón y la energía en el diseño de una política de desarrollo sostenible.
- Las emisiones asociadas a los combustibles fósiles son relevantes en cuanto al peso ambiental que suponen puesto que hacen parte de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), por lo que profundizar en el estudio de los impactos derivados de estas emisiones constituye una línea de investigación relevante, además de la construcción de otros indicadores ecológico ambientales que permitan describir con más detalle las presiones ambientales como la huella hídrica de la extracción de los combustibles fósiles.
- El estudio de las relaciones entre ecoinnovación, ecoeficiencia y combustibles fósiles requiere de una visión de conjunto que incluya las relaciones en el nivel micro, meso y macro, por lo que avanzara de forma detallada en estas temáticas a nivel de firma y a nivel agregado ayudaría a mejorar la comprensión de los impactos y mecanismos articuladores entre la ecoinnovación y la ecoeficiencia.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acaravci, A., & Ozturk, I. (2010a). Electricity consumption-growth nexus: Evidence from panel data for transition countries. *Energy Economics*, 32(3), 604-608. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2009.10.016>
- Acaravci, A., & Ozturk, I. (2010b). On the relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Europe. *Energy*, 35(12), 5412-5420. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.07.009>
- Agency, E. E. (2011). *Resource efficiency in Europe Policies and approaches in 31 EEA member and cooperating countries*. Luxembourg: European Environment Agency Recuperado de <http://www.eea.europa.eu/publications/resource-efficiency-in-europe>.
- Aghion, P., Bloom, N., Blundell, R., Griffith, R., & Howitt, P. (2005). Competition and Innovation: An Inverted-U Relationship. *Quarterly Journal of Economics*, 120(2), 701-728. doi:<http://qje.oxfordjournals.org/content/by/year>
- Aghion, P., & Howitt, P. (1998). *Endogenous growth theory*: MIT press.
- Aguado, I., Echebarría, C., & Barrutia, J. M. (2009). El desarrollo sostenible a lo largo de la historia del pensamiento económico. *Revista de Economía Mundial*, 21, 87-110.
- Aguilera, F., & Alcántar, V. (1994). *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica* Recuperado de http://www.fuhem.es/media/ecosocial/File/Actualidad/2011/LibroEA_EE.pdf
- Agung, I. G. N. (2014). *Panel Data Analysis using EViews*. Chichester (UK): Wiley.
- Akarca, A. T., & Long, T. V. (1980). Relationship between energy and GNP: a reexamination. *Journal of Energy Development*, 5(2).
- Al-Husseini, M. (2006). The debate over Hubbert's Peak: a review. *GeoArabia*, 11(2), 181-210. Recuperado de http://gulfpetrolink.net/Peak_AlHusseini.pdf
- Al-Iriani, M. A. (2006). Energy-GDP relationship revisited: An example from GCC countries using panel causality. *Energy Policy*, 34(17), 3342-3350. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2005.07.005>
- Al Rawashdeh, R., & Maxwell, P. (2013). Jordan, minerals extraction and the resource curse. *Resources Policy*, 38(2), 103-112. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.01.005>
- Alekkett, K. (2007). *Reserve Driven Forecasts for Oil, Gas & Coal and Limits in Carbon Dioxide Emissions*: OECD Publishing.
- Alekkett, K., & Campbell, C. J. (2003). The Peak and Decline of World Oil and Gas Production. *Minerals & Energy*, 18(1), 5.
- Alexeev, M., & Conrad, R. (2011). The natural resource curse and economic transition. *Economic Systems*, 35(4), 445-461. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecosys.2010.10.003>
- Alfonso, W. H., & Pardo, C. I. (2014). Urban material flow analysis: An approach for Bogotá, Colombia. *Ecological Indicators*, 42(0), 32-42. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.035>
- Alfranca, O. (2012). Evolución del pensamiento económico sobre los recursos naturales. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*, 865, 79-90. Recuperado de

http://www.revistasice.com/CachePDF/ICE_865_CBE54D199B22CEBD080FC16BD7F04F7C.pdf

- Altinay, G., & Karagol, E. (2004). Structural break, unit root, and the causality between energy consumption and GDP in Turkey. *Energy Economics*, 26(6), 985-994. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2004.07.001>
- Altomonte, H., Correa, N., Rivas, D., & Stumpo, G. (2011). La dinámica del consumo energético industrial en América Latina y sus implicancias para un desarrollo sostenible. *Revista CEPAL*, 105, 7-37.
- Amemiya, T. (1977). The maximum likelihood and the nonlinear three-stage least squares estimator in the general nonlinear simultaneous equation model. *Econometrica*, 45(4), 955-968.
- Anand, S., & Kanbur, S. M. R. (1993). The Kuznets process and the inequality—development relationship. *Journal of Development Economics*, 40(1), 25-52. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0304-3878\(93\)90103-T](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3878(93)90103-T)
- Andersen, J. J., & Aslaksen, S. (2008). Constitutions and the resource curse. *Journal of Development Economics*, 87(2), 227-246. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jdeveco.2007.12.005>
- Andersen, M. (2010). *Opening Up Innovation: Strategy, Organization and Technology*. Paper presented at the On the Faces and Phases of Eco-innovation-on the Dynamics of the Greening of the Economy, Imperial College. Paper to be presented at the Summer Conference 2010 recuperado de <http://www2.druid.dk/conferences/viewpaper.php?id=501858&cf=43>
- Anderson, T. W., & Rubin, H. (1949). Estimation of the Parameters of a Single Equation in a Complete System of Stochastic Equations. *The Annals of Mathematical Statistics*, 20(1), 46-63.
- Andrews, D. W. K. (1999). Consistent Moment Selection Procedures for Generalized Method of Moments Estimation. *Econometrica*, 67(3), 543-564.
- Ang, J. B. (2008). Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 271-278. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpolmod.2007.04.010>
- Aranzadi, J. C., Calzada, B., Díez, J. C., Iranzo, J. M., López, M., Marín, J. M., . . . Otero, J. V. (2008). *Energía: una visión económica*: Club Español de la Energía.
- Arellano, M. (2003). *Panel data econometrics*. Oxford: Oxford University Press.
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations. *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277-297.
- Arellano, M., & Bover, O. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of Econometrics*, 68(1), 29-51. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01642-D](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-D)
- Arezki, R., & Brückner, M. (2011). Oil rents, corruption, and state stability: Evidence from panel data regressions. *European Economic Review*, 55(7), 955-963. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.euroecorev.2011.03.004>
- Arezki, R., & Brückner, M. (2012). Commodity windfalls, polarization, and net foreign assets: Panel data evidence on the voracity effect. *Journal of International Economics*, 86(2), 318-326. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jinteco.2011.11.001>
- Arezki, R., & van der Ploeg, F. (2007). Can the natural resource curse be turned into a blessing? The role of trade policies and institutions. *IMF Working Papers*, 1-34. Recuperado de
- Arezki, R., & van der Ploeg, F. (2010). Trade Policies, Institutions and the Natural Resource Curse. *Applied Economics Letters*, 17(13-15), 1443-1451. doi:<http://www.tandfonline.com/loi/rael20>

- Arezki, R., & van der Ploeg, F. (2011). Do Natural Resources Depress Income Per Capita? *Review of Development Economics*, 15(3), 504-521. doi:<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/%28ISSN%291467-9361/issues>
- Arias, J. (2015). Carbón y desarrollo en Colombia. Recuperado de <http://zero.uexternado.edu.co/carbon-y-desarrollo-en-colombia/>
- Aronson, J., Blignaut, J. N., Milton, S. J., & Clewell, A. F. (2006). Natural capital: The limiting factor. *Ecological Engineering*, 28(1), 1-5. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.05.012>
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., . . . Pimentel, D. (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*, 15(2), 91-95. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00059-3](http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009(95)00059-3)
- Arthur Lewis, W. (1988). Chapter 2 The roots of development theory. In T. N. S. Hollis Chenery and (Ed.), *Handbook of Development Economics* (Vol. Volume 1, pp. 27-37): Elsevier.
- Arto, I. (2003). Requerimientos totales de materiales en el País Vasco. *Ecología Industrial*, 351, 115-128. Recuperado de <http://www.minetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/351/Economia07.pdf>
- Arundel, A., & Kemp, R. (2009). *Measuring eco-innovation*. Recuperado de Maastricht:
- Asafu-Adjaye, J. (2000). The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. *Energy Economics*, 22(6), 615-625. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883\(00\)00050-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883(00)00050-5)
- Asici, A. A. (2011). Economic growth and its impact on environment: A panel data analysis. *MPRA Paper No. 30238*, 1-24. Recuperado de <http://mpa.ub.uni-muenchen.de/30238/> doi:Asici, Ahmet Atıl (2011): Economic growth and its impact on environment: A panel data analysis.
- Asiedu, E., & Lien, D. (2010). Democracy, Foreign Direct Investment and Natural Resources. Rochester: Social Science Research Network.
- ASPO. (2009). The general depletion picture. *The Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO), Newsletter 100*.
- Auty, R. M. (1993). *Sustaining Development in Mineral Economies: The resource curse thesis* Routledge (Ed.) Recuperado de http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=uMCIAGAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Sustaining+Development+in+Mineral+Economies:+The+resource+curse+thesis.+Routledge&ots=7-KV_b2rli&sig=U1mTZ7SMDYySFeaTYHeMHsVux1Y#v=onepage&q&f=false
- Auty, R. M. (2000). How Natural Resources Affect Economic Development. *Development Policy Review*, 18(4).
- Auty, R. M. (2001). The political economy of resource-driven growth. *European Economic Review*, 45(4-6), 839-846. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0014-2921\(01\)00126-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00126-X)
- Ávila, R., & Cárdenas, J. (2006). Evolución de la actividad exploratoria de petróleo en Colombia: determinantes y caracterización en los últimos 35 años. *Boletín del Observatorio Colombiano de Energía*(23), 3-12.
- Ayres, (2007). On the practical limits to substitution. *Ecological Economics*, 61(1), 115-128. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.02.011>
- Ayres, R. U. (1989). Industrial Metabolism, the Environment and Application of Materials-Balance Principles for selected Chemicals. In A. R., N.-B. V., P. J., S. W., & J. Yanowitz (Eds.). Laxenburg: IIASA report RR-89-11.
- Azqueta, D. (2007). *Introducción a la Economía Ambiental*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.
- Banco-Mundial. (1992). *Informe sobre el desarrollo mundial 1992: desarrollo y medio ambiente*
- Barreto, C. A., & Campo, J. (2012). Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel. *ECOS de Economía*, 16(35), 73-89.

- Barreto, C. A., Linares, J., & Armenta, R. M. (2011). *Natural resources royalties and local development in Colombia*. MPRA Paper No. 45786. Recuperado de <http://mpa.ub.uni-muenchen.de/45786/>
- Barrios, J. C. (2012). Ecosistemas Urbanos. *Revista Ambienta*. Recuperado de <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Urbanos.htm>
- Barry, F., & Marta, F. (2003). *Economía Ambiental*. Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España.
- Behmiri, N. B., & Pires, J. R. (2014). The linkage between crude oil consumption and economic growth in Latin America: The panel framework investigations for multiple regions. *Energy*, 72(0), 233-241. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.028>
- Behrens, A., Giljum, S., Kovanda, J., & Niza, S. (2007). The material basis of the global economy: Worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies. *Ecological Economics*, 64(2), 444-453. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.034>
- Bejarano, J. A. (1987). El Despegue Cafetero (1900-1928). In J. A. Ocampo (Ed.), *Historia económica de Colombia* (Segunda Edición ed.). Bogotá D.C.: Siglo Veintiuno Editores.
- Belloumi, M., & Alshehry, A. S. (2015). Sustainable Energy Development in Saudi Arabia. *Sustainability*, 7(5), 5153-5170.
- Benavente, J. M. (2005). Investigación y desarrollo, innovación y productividad: un análisis econométrico a nivel de la firma. *Estudios de Economía*, 32(1), 39-67.
- Bermejo, R., Arto, I., Hoyos, D., & Garmendia, E. (2010). Menos es más: del desarrollo sostenible al decrecimiento sostenible. *Cuadernos de trabajo HEGOA*, 52, 1-33. Recuperado de <http://ehu.es/ojs/index.php/hegoa/article/viewFile/10593/9833>
- Bernal, H. (2012). *Inversión Extranjera Directa en Colombia en el siglo XX, énfasis en el sector petróleo*. Universidad de Los Andes. Bogotá D.C. Recuperado de [http://economia.uniandes.edu.co/investigaciones_y_publicaciones/CEDE/seminarios/cede/2012/Inversion Extranjera Directa en Colombia en el siglo XX enfasis en el sector petroleo](http://economia.uniandes.edu.co/investigaciones_y_publicaciones/CEDE/seminarios/cede/2012/Inversion%20Extranjera%20Directa%20en%20Colombia%20en%20el%20siglo%20XX%20enfasis%20en%20el%20sector%20petroleo)
- Berndt, E. R., & Wood, D. O. (1975). Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy. *The review of Economics and Statistics*, 57(3), 259-268. doi:10.2307/1923910
- Bhargava, A. (1991). Identification and panel data models with endogenous regressors. *The Review of Economic Studies*, 58(1), 129-140.
- Bhattacharyya, S., & Hodler, R. (2014). Do Natural Resource Revenues Hinder Financial Development? The Role of Political Institutions. *World Development*, 57(0), 101-113. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.12.003>
- Bifani, P. (1999). *Medio ambiente y desarrollo sostenible*
- Birdsall, N., Kelley, A. C., & Sinding, S. (2001). *Population Matters: Demographic Change, Economic Growth, and Poverty in the Developing World*: Oxford University Press.
- Blanco, L., & Grier, R. (2012). Natural resource dependence and the accumulation of physical and human capital in Latin America. *Resources Policy*, 37(3), 281-295. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.01.005>
- Bleischwitz, R., Giljum, S., Kuhndt, M., & Schmidt-Bleek, F. (2009). *Eco-innovation – Putting the EU on the path to a resource and energy efficient economy*. Germany: Wuppertal.
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1), 115-143. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
- Blundell, R., Bond, S., & Windmeijer, F. (2000). Estimation in dynamic panel data models: Improving on the performance of the standard GMM estimator *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels* (pp. 53-91).

- Boarini, R., Johansson, Å., & d'Ercole, M. M. (2006). Alternative Measures of Well-Being. *OECD Economics Department, Working Paper No. 476*. Recuperado de [doi:http://dx.doi.org/10.1787/832614168015](http://dx.doi.org/10.1787/832614168015)
- Bolla, V., Lock, G., & Popova, M. (2011). Is the EU on a Sustainable Development Path? Highlights of the 2011 Monitoring Report of the EU Sustainable Development Strategy. *Statistics in focus*, 58, 1-15. Recuperado de
- Bonet, J. (2006). Desequilibrios regionales en la política de descentralización en Colombia. *Economía Regional*, 77, 1-51.
- Bonet, J., Guzmán, K., Urrego, J., & Villa, J. M. (2014). Efectos del nuevo Sistema General de Regalías sobre el desempeño fiscal municipal: un análisis dosis-respuesta. *Economía Regional*, 203, 1-40.
- Bonet, J., & Meisel, A. (1999). La convergencia regional en Colombia: una visión de largo plazo, 1926–1995. *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional*, 8. Recuperado de
- Bonet, J., & Urrego, J. (2014). El Sistema General de Regalías: ¿mejoró, empeoró o quedó igual? *Economía Regional*, 198, 1-44.
- Bonilla, L. (2008). Diferencias regionales en la distribución del ingreso en Colombia. *Economía Regional*, 108, 1-30.
- Boulding, K. (1966). The economics of the coming spaceship earth. In A. Markandya & J. Richardson (Eds.), *Environmental Economics: A reader*. New York: St. Martin's Pres.
- Box, G. E., & Jenkins, G. M. (1978). *Time series analysis: forecasting and control* (revisada ed.). San Francisco: Holden-Day.
- Boyce, J. R., & Herbert Emery, J. C. (2011). Is a negative correlation between resource abundance and growth sufficient evidence that there is a “resource curse”? *Resources Policy*, 36(1), 1-13. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2010.08.004>
- Brand, F. (2009). Critical natural capital revisited: Ecological resilience and sustainable development. *Ecological Economics*, 68(3), 605-612. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.013>
- Brandt, A. R. (2007). Testing Hubbert. *Energy Policy*, 35(5), 3074-3088. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2006.11.004>
- Brecha, R. J. (2012). Logistic curves, extraction costs and effective peak oil. *Energy Policy*, 51(0), 586-597. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.016>
- Brennan, T. J., & Palmer, K. L. (2013). Energy efficiency resource standards: Economics and policy. *Utilities Policy*, 25(0), 58-68. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2013.02.001>
- Bretschger, L., & Zurich, E. (2010). Sustainability Economics, Resource Efficiency, and the Green New Deal. *International Economics of Resource Efficiency*, 7(2-3), 187–202.
- Bringezu, S., Schütz, H., & Moll, S. (2003). Rationale for and Interpretation of Economy-Wide Materials Flow Analysis and Derived Indicators. *Journal of Industrial Ecology*, 7(2), 43-64. doi:10.1162/108819803322564343
- Bringezu, S., Schütz, H., Steger, S., & Baudisch, J. (2004). International comparison of resource use and its relation to economic growth: The development of total material requirement, direct material inputs and hidden flows and the structure of TMR. *Ecological Economics*, 51(1–2), 97-124. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.04.010>
- Bruckner, M., Giljum, S., Lutz, C., & Wiebe, K. S. (2012). Materials embodied in international trade – Global material extraction and consumption between 1995 and 2005. *Global Environmental Change*, 22(3), 568-576. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.03.011>
- Brunnschweiler, C. N. (2008). Cursing the Blessings? Natural Resource Abundance, Institutions, and Economic Growth. *World Development*, 36(3), 399-419. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.03.004>

- Brunnschweiler, C. N., & Bulte, E. H. (2008). The resource curse revisited and revised: A tale of paradoxes and red herrings. *Journal of Environmental Economics and Management*, 55(3), 248-264. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2007.08.004>
- Bulte, E., & Damania, R. (2008). Resources for Sale: Corruption, Democracy and the Natural Resource Curse. *B.E. Journal of Economic Analysis & Policy: Frontiers of Economic Analysis & Policy*, 8(1), 1-28.
- Bulte, E. H., Damania, R., & Deacon, R. T. (2005). Resource intensity, institutions, and development. *World Development*, 33(7), 1029-1044. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2005.04.004>
- Bun, M. J. G., & Windmeijer, F. (2010). The weak instrument problem of the system GMM estimator in dynamic panel data models. *Econometrics Journal*, 13(1), 95-126. doi:10.1111/j.1368-423X.2009.00299.x
- Busse, M., & Gröning, S. (2013). The resource curse revisited: governance and natural resources. *Public Choice*, 154(1-2), 1-20. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11127-011-9804-0>
- Bustelo, P. (1999). *Teorías Contemporáneas del Desarrollo Económico*. Madrid: Síntesis.
- Cabral, A., & Hauk, E. (2011). The Quality of Political Institutions and the Curse of Natural Resources. *Economic Journal*, 121(551), 58-88. doi:10.1111/j.1468-0297.2010.02390.x
- Cai, W.-g., & Zhou, X.-l. (2014). On the drivers of eco-innovation: empirical evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 79(0), 239-248. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.035>
- Camarero, M., Castillo, J., Picazo-Tadeo, A. J., & Tamarit, C. (2013). Eco-efficiency and Convergence in OECD Countries. *Environmental and Resource Economics*, 55(1), 87-106. doi:<http://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/10640>
- Campbell, C. J., & Wöstmann, A. (2013). *Campbell's Atlas of Oil and Gas Depletion* Recuperado de <https://books.google.es/books?id=tX5KAAAAQBAJ> doi:10.1007/978-1-4614-3576-1
- Campo, J. R., & Sanabria, A. P. (2013). Recursos Naturales y Crecimiento Económico en Colombia: ¿Maldición de los Recursos? *Perfil de Coyuntura Económica*(21), 17-37.
- Canas, Â., Ferrão, P., & Conceição, P. (2003). A new environmental Kuznets curve? Relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialised countries. *Ecological Economics*, 46(2), 217-229. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00123-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00123-X)
- Caravaca, I., González, G., García, A., Fernández, V., & Mendoza, A. (2014). Conocimiento, innovación y estrategias públicas de desarrollo: análisis comparado de tres ciudades medias de Andalucía (España). *EURE*, 40(19), 49-74. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612014000100003&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0250-71612014000100003.
- Cárdenas, M. (2005). *El sector petrolero en Colombia*. FEDESARROLLO. Bogotá D.C. Recuperado de http://economia.uniandes.edu.co/share/pdf_doc/home/foros/sem_sector_petrolero/
- Cárdenas, M., & Reina, M. (2008). La minería en Colombia: impacto socioeconómico y fiscal. *Cuadernos de Fedesarrollo*, 25.
- Carmona, A. M. (1992). *Economía e innovación*. Madrid :: Prensa y Ediciones Iberoamericanas.
- Carpintero, O. (2003). *Los requerimientos totales de materiales de la economía española una visión a largo plazo: 1955-2000* Vol. 351. *Economía industrial* (pp. 27-58). Recuperado de <http://www.minetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/351/Economia03.pdf>
- Carpintero, O. (2003). Los requerimientos totales de materiales de la economía española una visión a largo plazo: 1955-2000. *Economía industrial*, 351, 27-58. Recuperado de <http://www.minetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/351/Economia03.pdf>

- Carpintero, Ó. (2003). Los requerimientos totales de materiales de la economía española una visión a largo plazo: 1955-2000. *Economía industrial*, 351, 27-58. Recuperado de
- Carpintero, Ó. (2005). *El metabolismo de la economía española: recursos naturales y huella ecológica (1955-2000)*
- Carpintero, O., & Naredo, J. M. (2004). El metabolismo de la economía española. *La situación del mundo: informe anual del Worldwatch Institute sobre progreso hacia una sociedad sostenible*, 321-350. Recuperado de
- Carpintero, Ó., & Naredo, J. M. (2004). El metabolismo de la economía española. In B. Halwel & L. Mastny (Eds.), *La Situación del Mundo 2004: La sociedad de consumo. Informe anual del Worldwatch Institute sobre el progreso hacia una sociedad sostenible* (pp. 321-349). Barcelona: Icaria.
- Carreño, P., & Portilla, M. (2011). *Convergencia departamental, desarrollo humano e inclusión en Colombia*. Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C.
- Castillo, M. (1999). Energy, Capital And Technological Change In Colombia: A Comparative Analysis With The United States. *Revista de Ingeniería*, 10, 67-72. doi:10.16924/riua.v0i10.588
- Caviglia-Harris, J. L., Chambers, D., & Kahn, J. R. (2009). Taking the "U" out of Kuznets: A comprehensive analysis of the EKC and environmental degradation. *Ecological Economics*, 68(4), 1149-1159. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.08.006>
- Clive, W. J. G., & Lin, J.-L. (1995). Causality in the Long Run. *Econometric Theory*, 11(3), 530-536.
- CMMAD. (1987). *Nuestro Futuro Común*. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Madrid.
- Coase, R. H. (1960). The Problem of Social Cost. *Journal of Law and Economics*, 3, 1-44. doi:10.2307/724810
- Cole, M. A. (2004). Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. *Ecological Economics*, 48(1), 71-81. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2003.09.007>
- Colom, A. (2012). Recursos naturales y desarrollo en el Chad: ¿maldición de los recursos o inserción periférica? *Revista de Economía Mundial*, 31.
- Collier, P., & Goderis, B. (2008). Commodity Prices, Growth, and the Natural Resource Curse: Reconciling a Conundrum. *Munich Personal RePEc Archive*, 1-45. Recuperado de <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/17315/> doi:Collier, Paul and Goderis, Benedikt (2008): Commodity Prices, Growth, and the Natural Resource Curse: Reconciling a Conundrum.
- Collier, P., & Goderis, B. (2009). Commodity Prices, Growth, and the Natural Resource Curse: Reconciling a Conundrum. Rochester: Social Science Research Network.
- Collier, P., van der Ploeg, R., Spence, M., & Venables, A. J. (2010). Managing Resource Revenues in Developing Economies. *IMF Staff Papers*, 57(1), 84-118. doi:<http://www.palgrave-journals.com/imfsp/archive/index.html>
- Corden, W. M., & Neary, J. P. (1982). Booming sector and de-industrialisation in a small open economy. *Economic Journal*, 92(368), 825-848.
- Cornell-University, INSEAD, & WIPO. (2014). *The Global Innovation Index 2014: The Human Factor In innovation*. Recuperado de Fontainebleau:
- Correa, F., Vasco, A. F., & Pérez, C. (2005). La curva ambiental de kuznets: evidencia empírica para Colombia. *Revista Semestre Económico*, 8(15), 14-30. Recuperado de
- Costa-Campi, M. T., García-Quevedo, J., & Segarra, A. (2015). Energy efficiency determinants: An empirical analysis of Spanish innovative firms. *Energy Policy*, 83, 229-239. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.01.037>
- Costanza, R. (1999). *Introducción a la economía ecológica*: AENOR.

- Costanza, R., & Gottlieb, S. (1998). Modelling ecological and economic systems with STELLA: Part II. *Ecological Modelling*, 112(2–3), 81-84. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800\(98\)00073-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800(98)00073-8)
- Costanza, R., & Patten, B. C. (1995). Defining and predicting sustainability. *Ecological Economics*, 15(3), 193-196. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00048-8](http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009(95)00048-8)
- Costanza, R., & Voinov, A. (2001). Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. *Ecological Modelling*, 143(1–2), 1-7. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00358-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00358-1)
- Cotte, A. (2011). Economic development and growth in Colombia: An empirical analysis with super-efficiency DEA and panel data models. *Socio-Economic Planning Sciences*, 45(4), 154-164. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.seps.2011.07.003>
- Cotte, A. (2012). Estimating Effectiveness of the Control of Violence and Socioeconomic Development in Colombia: An Application of Dynamic Data Envelopment Analysis and Data Panel Approach. *Social Indicators Research*, 105(3), 343-366. doi:10.1007/s11205-010-9772-7
- Cotte, A., & Pardo, C. (2011). Trends in economic growth, poverty and energy in Colombia: long-run and short-run effects. *Energy Systems*, 2(3-4), 281-298. doi:10.1007/s12667-011-0036-7
- Cotte, A., & Pardo, C. (2011). Trends in economic growth, poverty and energy in Colombia: long-run and short-run effects. *Energy Systems*, 2(3-4), 281-298. doi:10.1007/s12667-011-0036-7
- Cuerva, M. C., Triguero-Cano, Á., & Córcoles, D. (2014). Drivers of green and non-green innovation: empirical evidence in Low-Tech SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 68(0), 104-113. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.049>
- Chapman, I. (2014). The end of Peak Oil? Why this topic is still relevant despite recent denials. *Energy Policy*, 64(0), 93-101. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.010>
- Charter, M., & Clark, T. (2007). Sustainable Innovation. Key conclusions from sustainableinnovation conferences 2003e2006. The Centre for Sustainable Design.
- Cheng, B. S., & Lai, T. W. (1997). An investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. *Energy Economics*, 19(4), 435-444. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883\(97\)01023-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883(97)01023-2)
- Cheng, C., & Shiu, E. (2012). Validation of a proposed instrument for measuring eco-innovation: An implementation perspective. *Technovation*, 32(6), 329-344. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2012.02.001>
- Chi, J., & Baek, J. (2011). Demand Analysis for Coal on the United States Inland Waterway System: Fully-Modified Cointegration (FM-OLS) Approach. *Journal of the Transportation Research Forum*, 50(1), 89-99. doi:<http://www.trforum.org/journal/>
- Dahlström, K., & Ekins, P. (2005). Eco-efficiency Trends in the UK Steel and Aluminum Industries: Differences between Resource Efficiency and Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 171-188. doi:10.1162/108819805775247954
- Dai, J., & Chen, B. (2010). Materials Flows Analysis of Fossil Fuels in China during 2000-2007. *Procedia Environmental Sciences*, 2(0), 1818-1826. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.193>
- Daly, H. E. (1973). *Toward a steady-state economy*. San Francisco.
- Daly, H. E., & Townsend, K. N. (1996). *Valuing the earth : economics, ecology, ethnics*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Damette, O., & Seghir, M. (2013). Energy as a driver of growth in oil exporting countries? *Energy Economics*, 37, 193-199. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2012.12.011>
- DANE, & DNP. (2012). *Misión para el Empalme de las Series de Empleo, Pobreza y Desigualdad (mesep). Pobreza monetaria en Colombia: Nueva metodología y cifras 2002-2010*. Bogotá D.C.: DANE.

- Dawson, P. J. (1997). On testing Kuznets economic growth hypothesis. *Applied Economics Letters*, 4(7), 409-410.
- de Almeida, P., & Silva, P. D. (2009). The peak of oil production—Timings and market recognition. *Energy Policy*, 37(4), 1267-1276. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.016>
- de Bruyn, S., Jan, Potjer, B., Schwencke, A., & van Soest, J. P. (2003). *Measuring less, knowing more. The use of the indicators in dematerialization policy*. Recuperado de Delft:
- De Gregorio, J. (2008). EL CRECIMIENTO ECONÓMICO DE LA AMÉRICA LATINA: Del desencanto del siglo XX a los desafíos del XXI*. *El Trimestre Económico*, 75(1), 5-45.
- de Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- de Medeiros, H. K., & dos Santos, E. M. (2013). Institutional analysis and the “resource curse” in developing countries. *Energy Policy*, 63(0), 788-795. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.060>
- Desai, R. M., Freinkman, L. M., & Goldberg, I. (2003). *Fiscal Federalism and Regional Growth: Evidence from the Russian Federation in the 1990s*. Recuperado de Washington, DC: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18059>
- DeSimone, L. D., & Popoff, F. (2000). *Eco-efficiency: the business link to sustainable development*. Cambridge: MIT press.
- Diaz-Rainey, I., & Ashton, J. K. (2015). Investment inefficiency and the adoption of eco-innovations: The case of household energy efficiency technologies. *Energy Policy*, 82, 105-117. doi:10.1016/j.enpol.2015.03.003
- Díaz Valdivia, C. A., & Aliaga Lordemann, J. (2010). Análisis de la relación entre calidad institucional, recursos naturales y crecimiento económico. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, 14, 7-40. Recuperado de
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431. doi:10.2307/2286348
- Dieckhöner, C. (2012). Does Subsidizing Investments in Energy Efficiency Reduce Energy Consumption?: Evidence from Germany. *SOEPpapers*, 1-30. Recuperado de http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw_01.c.414095.de doi:<http://www.diw.de/>
- Dittrich, M., & Bringezu, S. (2010). The physical dimension of international trade: Part 1: Direct global flows between 1962 and 2005. *Ecological Economics*, 69(9), 1838-1847. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.04.023>
- Dittrich, M., Bringezu, S., & Schütz, H. (2012). The physical dimension of international trade, part 2: Indirect global resource flows between 1962 and 2005. *Ecological Economics*, 79(0), 32-43. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.014>
- DNP. (2005). *Metodología para la medición y análisis del desempeño municipal*. Bogotá D.C.: Departamento Nacional de Planeación.
- Domenech, J. (2008). Mineral resource abundance and regional growth in Spain, 1860–2000. *Journal of International Development*, 20(8), 1122-1135. doi:10.1002/jid.1515
- Dosi, G. (1992). Fuentes, métodos y efectos microeconómicos de la innovación. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, 22, 269-332. Recuperado de
- Egli, H., & Steger, T. M. (2007). A Dynamic Model of the Environmental Kuznets Curve: Turning Point and Public Policy. *Environmental and Resource Economics*, 36(1), 15-34. doi:<http://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/10640>
- Ehrenfeld, J. R. (2005). Eco-efficiency: Philosophy, Theory, and Tools. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 6-8. doi:10.1162/108819805775248070

- Ehrhart, H., & Guérineau, S. (2013). *Commodity price volatility and tax revenue: Evidence from developing countries*. Document De Travail No 423. Direction Générale Des Études Et Des Relations Internationales. Banque de France. Paris.
- Ekins, P. (2005). Eco-efficiency: Motives, Drivers, and Economic Implications. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 12-14. doi:10.1162/108819805775247981
- Engerman, S. L., & Sokoloff, K. L. (1997). Factor Endowments, Institutions, and Differential Paths of Growth among New World Economies: A view from economic historians of the United States. In S. H. Haber (Ed.), *How Latin America fell behind*. Stanford CA: Stanford University Press.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. doi:10.2307/1913236
- Erol, U., & Yu, E. S. H. (1987). Time series analysis of the causal relationships between U.S. energy and employment. *Resources and Energy*, 9(1), 75-89. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0165-0572\(87\)90024-7](http://dx.doi.org/10.1016/0165-0572(87)90024-7)
- España, O. d. I. S. e. (2012). *Monografía Retos para la Sostenibilidad: Camino a Río+20*. Observatorio de la Sostenibilidad en España. Alcalá de Henares.
- Espinoza, L., & Cabero, V. (Eds.). (2006). *Sociedad y Medio Ambiente*. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca.
- europa, C. (2006). *Programa Marco para la Competitividad y la Innovación (2007-2013) (The Competitiveness and Innovation Framework Programme, CIP)*. Recuperado de http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/n26104_en.htm.
- Eurostat. (2001). *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide*. Eurostat. European Commission. Recuperado de http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product_details/publication?p_publication_code=KS-34-00-536
- Fan, R., Fang, Y., & Park, S. Y. (2012). Resource abundance and economic growth in China. *China Economic Review*, 23(3), 704-719. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.chieco.2012.04.007>
- Farley, J., & Daly, H. (2006). Natural capital: The limiting factor: A reply to Aronson, Blignaut, Milton and Clewell. *Ecological Engineering*, 28(1), 6-10. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.05.021>
- Fatai, K., Oxley, L., & Scrimgeour, F. (2004). Modelling the causal relationship between energy consumption and GDP in New Zealand, Australia, India, Indonesia, The Philippines and Thailand. *Mathematics and Computers in Simulation*, 64(3), 431-445.
- Fedesarrollo. (2007). *Impacto de la inversión extranjera en Colombia: situación actual y perspectivas*. Recuperado de Bogotá D.C.:
- Fernández, C., & Villar, L. (2014). *Bonanzas temporales de recursos: una perspectiva global*. Recuperado de <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/235>
- Figueroa, E., & Pasten, R. (2009). Country-Specific Environmental Kuznets Curves: A Random Coefficient Approach Applied to High-Income Countries. *Estudios de Economía*, 36(1), 5-32.
- Fischer-Kowalski, M., & Huttler, W. (1998). Society's Metabolism The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology*, 2(4), 107-136. Recuperado de doi:10.1162/jiec.1998.2.4.107
- Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Giljum, S., Lutter, S., Mayer, A., Bringezu, S., . . . Weisz, H. (2011). Methodology and Indicators of Economy-wide Material Flow Accounting. *Journal of Industrial Ecology*, 15(6), 855-876. doi:10.1111/j.1530-9290.2011.00366.x
- Fischer-Kowalski, M. H., Walter. (1998a). Society's Metabolism The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of industrial ecology*, 2(4), 107-136. Recuperado de doi:10.1162/jiec.1998.2.4.107
- Fischer-Kowalski, M. H., Walter. (1998b). Society's Metabolism

- The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of industrial ecology*, 2(4), 107-136. Recuperado de doi:10.1162/jiec.1998.2.4.107
- Fischer, S., & Dornbusch, R. (1986). *Economía*. México.
- Fishwick, P. A. (Ed.) (2007). *Handbook of Dynamic System Modeling*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- FMI. (2008). *Guide on Resource Revenue Transparency*. Washington, D.C.: FMI.
- Font Vivanco, D., Kemp, R., & van der Voet, E. (2015). The relativity of eco-innovation: environmental rebound effects from past transport innovations in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 101(0), 71-85. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.019>
- Forster, B. A. (1973). Optimal Capital Accumulation in a Polluted Environment. *Southern Economic Journal*, 39(4), 544-547. doi:10.2307/1056705
- Franceschini, S., & Pansera, M. (2015). Beyond unsustainable eco-innovation: The role of narratives in the evolution of the lighting sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 92(0), 69-83. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2014.11.007>
- Fussler, C., & James, P. (1996). *Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability* (ilustrada ed.). London: Pitman.
- Galvis, L., & Roca, A. (2010). Persistencia de las desigualdades regionales en Colombia: Un análisis espacial. *Economía Regional*, 120, 1-35.
- Garavito, A., Iregui, A. M., & Ramírez, M. T. (2012). Inversión Extranjera Directa en Colombia: Evolución reciente y marco normativo. *Borradores de Economía*, 713, 1-63.
- Garza, V. (2009). Rachel Carson: La escritora de lo ambiental. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 33-34, 49-51. Recuperado de http://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?querryDismax.DOCUMENTAL_TODO=Rachel%20Carson%3A%20La%20escritura%20de%20lo%20ambiental&filtros.DOCUMENTAL_FACET_ENTIDAD=artrev
- Georgescu-Roegen, N. U. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico* (F. Argentaria Ed.): Fundación Argentaria.
- Gertler, P., Shelef, O., Wolfram, C., & Fuchs, A. (2011). Poverty, growth, and the demand for energy. *Energy Institute at Haas Working Paper*, 224.
- Ghali, K. H., & El-Sakka, M. I. T. (2004). Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis. *Energy Economics*, 26(2), 225-238. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883\(03\)00056-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883(03)00056-2)
- Ghosh, B. C., Alam, K. J., & Osmani, M. A. (2014). Economic growth, CO2 emissions and energy consumption: The case of Bangladesh. *International Journal of Business and Economics Research*, 3(6), 220-227. doi:10.11648/j.ijber.20140306.13
- Glasure, Y. U., & Lee, A.-R. (1998). Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and energy: The case of South Korea and Singapore. *Resource and Energy Economics*, 20(1), 17-25. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0928-7655\(96\)00016-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0928-7655(96)00016-4)
- Glilo, N. (2006). *Estilos de desarrollo y medio ambiente en América Latina, un cuarto de siglo después* (Vol. 126). Santiago de Chile: United Nations Publications.
- Gómez Baggethun, E., & de Groot, R. S. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, 16(3), 4 - 14. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/7642> doi:<http://hdl.handle.net/10045/7642>
- González-Eguino, M. (2015). Energy poverty: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 377-385. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.013>
- Gray, L. C. (1914). Rent Under the Assumption of Exhaustibility. *The Quarterly Journal of Economics*, 28(3), 466-489. doi:10.2307/1884984
- GRECO. (2002). *El crecimiento económico colombiano en el siglo XX*: Banco de la República.
- Greene, W. (2003). *Econometric analysis*. Boston: Pearson Education

- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377. doi:<http://qje.oxfordjournals.org/content/by/year>
- Guenster, N., Bauer, R., Derwall, J., & Koedijk, K. (2011). The Economic Value of Corporate Eco-efficiency. *European Financial Management*, 17(4), 679-704. doi:<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/%28ISSN%291468-036X/issues>
- Guerrero, F., & Llano, F. (2003). Gas Natural en Colombia - GAS e.s.p. *Estudios Gerenciales*, 19, 115-146.
- Gujarati, D., & Porter, D. C. (2010). *Econometría* (P. Carril, Trans. Quinta ed.). México: MacGraw-Hill.
- Gutiérrez, E. (2007). De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable Historia de la construcción de un enfoque multidisciplinario²⁵. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60715120006>
- Gylfason, T. (2004). Natural resources and economic growth: From dependence to diversification. *Centre for Economic Policy Research*. Recuperado de
- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Weisz, H., & Winiwarter, V. (2004). Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land Use Policy*, 21(3), 199-213. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.013>
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156-1164. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.012>
- Hall, A. R., Inoue, A., Jana, K., & Shin, C. (2007). Information in generalized method of moments estimation and entropy-based moment selection. *Journal of Econometrics*, 138(2), 488-512.
- Harrod, R. F. (1939). An Essay in Dynamic Theory. *The Economic Journal*, 49(193), 14-33. doi:10.2307/2225181
- Hartley, R. (2009). Eco-eficiencia una gestión empresarial ambiental. *Ciencias económicas*, 27(1), 189-205. Recuperado de
- Hausmann, R., & Rigobon, R. (2002). *An Alternative Interpretation of the 'Resource Curse': Theory and Policy Implications*. National Bureau of Economic Research, Inc, NBER Working Papers: 9424. Recuperado de <http://www.nber.org/papers/w9424.pdf>
- Helminen, R.-R. (2000). Developing tangible measures for eco-efficiency: the case of the Finnish and Swedish pulp and paper industry. *Business Strategy & the Environment (John Wiley & Sons, Inc)*, 9(3), 196-210.
- Hervieux, M.-S., & Darné, O. (2015). Environmental Kuznets Curve and ecological footprint: A time series analysis. *Economics Bulletin*, 35(1), 814-826.
- Hinterberger, F., Luks, F., & Schmidt-Bleek, F. (1997). Material flows vs. 'natural capital': What makes an economy sustainable? *Ecological Economics*, 23(1), 1-14. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(96\)00555-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(96)00555-1)
- Hoh, H., Schoer, K., & Seibel, S. (2002). Eco-efficiency Indicators in German Environmental Economic Accounting. *Statistical Journal*, 19(1-2), 41-52.
- Holdren, J. P., & Ehrlich, P. R. (1972). One-Dimensional Ecology Revisited A Rejoinder. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 28(6), 42-45.
- Höök, M. (2014). *Depletion of conventional hydrocarbons: recent perspectives on oil, gas and coal*. Paper presented at the 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE Beyond peak oil: the future of energy, Barbastro, Huesca, España.
- Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation—New evidence from German panel data sources. *Research Policy*, 37(1), 163-173. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2007.08.006>
- Hormaeche, J. I. (2008). *El Petróleo y la energía en la economía: los efectos económicos del encarecimiento del petróleo en la economía vasca*. Vitoria-Gasteiz: Gobierno Vasco,

- Departamento de Hacienda y Administración Pública, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Hotelling, H. (1931). The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy*, 39(2), 137-175. doi:10.2307/1822328
- Huang, B.-N., Hwang, M. J., & Yang, C. W. (2008). Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: A dynamic panel data approach. *Ecological Economics*, 67(1), 41-54. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.11.006>
- Hubbert, M. K. (1956). *Nuclear energy and the fossil fuels*. Shell Development Company, Exploration and Production Research Division. Drilling and Production Practice. Texas.
- Hubbert, M. K. (1982). Techniques of prediction as applied to production of oil and gas 631, 1–121. Recuperado de
- Huber, J. (2005). *Key Environmental Innovations*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10419/73907>
- Huppes, G., & Ishikawa, M. (2005a). Eco-efficiency and Its Terminology. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 43-46. doi:10.1162/108819805775247891
- Huppes, G., & Ishikawa, M. (2005b). Why Eco-efficiency? *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 2-5. doi:10.1162/108819805775248052
- Huppes, G., Kleijn, R., Huele, R., Ekins, P., B., S., Schaltegger, S., & Esders, M. (2008). *Measuring eco-Innovation: Framework and typology of indicators based on causal chains*. Management summary of the final report of the ECODRIVE project. Londres. Recuperado de www.eco-innovation.eu/wiki/images/Ecodrive_management_summary.pdf
- IEA. (2001). *Coal Information 2001*: OECD Publishing.
- IEA. (2002a). *Natural Gas Information 2002*: OECD Publishing.
- IEA. (2002b). *Oil Information 2002*: OECD Publishing.
- IEA. (2007). *Coal Information 2007*: OECD Publishing.
- IEA. (2012a). *Coal Information 2012*: OECD Publishing.
- IEA. (2012b). *Natural Gas Information 2012*: OECD Publishing.
- IEA. (2012c). *Oil Information 2012*: OECD Publishing.
- IEA. (2014). *World Energy Outlook 2014*: IEA.
- IEA. (2015a). *Coal Information 2015*: IEA.
- IEA. (2015b). *Natural Gas Information 2015*: IEA.
- IEA. (2015c). *World Energy Outlook 2015*: OECD Publishing.
- INE. (2010). *Cuentas de flujos de materiales Serie 1995-2008 Base 2010*. Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de <http://www.ine.es/daco/daco42/ambiente/aguasatelite/metflujos2.pdf>
- Isham, J., Woolcock, M., Pritchett, L., & Busby, G. (2005). The Varieties of Resource Experience: Natural Resource Export Structures and the Political Economy of Economic Growth. *World Bank Economic Review*, 19(2), 141-174. doi:<http://wber.oxfordjournals.org/content/by/year>
- J, P. M., & Hubacek, K. (2008). Material implication of Chile's economic growth: Combining material flow accounting (MFA) and structural decomposition analysis (SDA). *Ecological Economics*, 65(1), 136-144. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.06.010>
- Jahangir Alam, M., Ara Begum, I., Buysse, J., & Van Huylenbroeck, G. (2012). Energy consumption, carbon emissions and economic growth nexus in Bangladesh: Cointegration and dynamic causality analysis. *Energy Policy*, 45, 217-225. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.022>
- Jakovac, P. (2013). Empirical Analysis on Economic Growth and Energy Consumption Relationship in Croatia. *Ekonomika Istrazivanja*, 26(4), 21-42.

- James, P. (1997). The sustainability cycle: a new tool for product development and design. *Journal of Sustainable Product Design*, 2, 52-57. Recuperado de <http://www.cfsd.org.uk/journal/archive/index.html>.
- Jammazi, R., & Aloui, C. (2015). Environment degradation, economic growth and energy consumption nexus: A wavelet-windowed cross correlation approach. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 436, 110-125. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2015.05.058>
- Jiménez, L. M. (1992). *Medio ambiente y desarrollo alternativo: gestión racional de los recursos para una sociedad perdurable* (segunda edición ed.). Madrid: IEPALA.
- Jiménez, L. M. (1997). *Desarrollo sostenible y economía ecológica: integración medio ambiente-desarrollo y economía-ecología* (primera ed.). Madrid: Síntesis.
- Jiménez, L. M. (1999). Cambio global, desarrollo sostenible y coevolución. *Sostenible?*(1), 36-63.
- Jiménez, L. M. (2002). La sostenibilidad como proceso de equilibrio dinámico y adaptación al cambio. *ICE: Revista de economía*(800), 65-84.
- Jiménez, L. M. (2008). *Desarrollo Sostenible: Transición hacia la coevolución global*. Madrid: Pirámide.
- Jin-ke, L., Feng-hua, W., & Hua-ling, S. (2009). Differences in coal consumption patterns and economic growth between developed and developing countries. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1(1), 1744-1750. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeps.2009.09.267>
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2), 231-254.
- Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 52(2), 169-210.
- Kahhat, R., & Williams, E. (2012). Materials flow analysis of e-waste: Domestic flows and exports of used computers from the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 67, 67-74. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.008>
- Kamien, M. I., & Schwartz, N. L. (1989). *Estructura de mercado e innovación*. Madrid: Alianza Editorial.
- Kapp, K. W. (1950). *The Social Cost of Private Enterprise*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kaygusuz, K. (2011). Energy services and energy poverty for sustainable rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 936-947. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.003>
- Kemp, R. (2010). Eco-Innovation: definition, measurement and open research issues. *Economia politica*, 27(3), 397-420. Recuperado de
- Kemp, R., & Pearson, P. (2007). Final report MEI project about measuring eco-innovation. Recuperado de <http://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>
- Kemp, R., & Pontoglio, S. (2011). The innovation effects of environmental policy instruments — A typical case of the blind men and the elephant? *Ecological Economics*, 72(0), 28-36. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.09.014>
- Kirchgässner, G., Wolters, J., & Hassler, U. (2013). *Introduction to Modern Time Series Analysis*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Kleemann, L., & Abdulai, A. (2013). The Impact of Trade and Economic Growth on the Environment: Revisiting the Cross-Country Evidence. *Journal of International Development*, 25(2), 180-205. doi:<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%291099-1328/issues>
- Kortelainen, M., & Kuosmanen, T. (2007). Eco-efficiency analysis of consumer durables using absolute shadow prices. *Journal of Productivity Analysis*, 28(1/2), 57-69. doi:10.1007/s11123-007-0046-6

- Koskela, M., & Vehmas, J. (2012). Defining Eco-efficiency: A Case Study on the Finnish Forest Industry. *Business Strategy & the Environment (John Wiley & Sons, Inc)*, 21(8), 546-566. doi:10.1002/bse.741
- Kovanda, J., & Hak, T. (2008). Changes in Materials Use in Transition Economies. *Journal of Industrial Ecology*, 12(5/6), 721-738. doi:10.1111/j.1530-9290.2008.00088.x
- Kraft, J., & Kraft, A. (1978). On The Relationship between energy and GNP. *Journal Name: J. Energy Dev.; (United States); Journal Volume: 3:2*, Medium: X; Size: Pages: 401-403.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., & Fischer-Kowalski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68(10), 2696-2705. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007>
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1-28. doi:10.2307/1811581
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics*, 54(1), 159-178.
- Labban, M. (2010). Oil in parallax: Scarcity, markets, and the financialization of accumulation. *Geoforum*, 41(4), 541-552. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2009.12.002>
- Lacalle Fernández, D., & Parrilla, D. (2014). *La madre de todas las batallas : la energía, árbitro del nuevo orden mundial*. Barcelona: Deusto.
- Larsen, E. R. (2005). Are rich countries immune to the resource curse? Evidence from Norway's management of its oil riches. *Resources Policy*, 30(2), 75-86. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2004.12.001>
- Latouche, S. (2007). *Sobrevivir al desarrollo : de la descolonización del imaginario económico a la construcción de una sociedad alternativa* (Vol. 66). Barcelona :: Icaria.
- Latouche, S. (2008). *La apuesta por el decrecimiento : ¿cómo salir del imaginario dominante?* (1ª ed. ed. Vol. 273). Barcelona :: Icaria.
- Lederman, D., & Maloney, W. (2007). Trade Structure and Growth. In D. Lederman, William F. (Ed.), *Natural Resources Neither Curse nor Destiny* (pp. 15-40). Washington, DC: The World Bank.
- Lederman, D., & Xu, L. C. (2007). Comparative Advantage and Trade Intensity: Are Traditional Endowments Destiny? In D. Lederman & W. Maloney (Eds.), *Natural Resources Neither Curse nor Destiny* (pp. 289-322). Washington, DC: The World Bank.
- Lee, C.-C. (2005). Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis. *Energy Economics*, 27(3), 415-427. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2005.03.003>
- Lee, C.-C., & Chang, C.-P. (2005). Structural breaks, energy consumption, and economic growth revisited: Evidence from Taiwan. *Energy Economics*, 27(6), 857-872. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2005.08.003>
- Lee, C.-C., & Chang, C.-P. (2007). Energy consumption and GDP revisited: A panel analysis of developed and developing countries. *Energy Economics*, 29(6), 1206-1223. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2007.01.001>
- Lee, C.-C., & Chang, C.-P. (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: a more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics*, 30(1), 50-65.
- Lee, C.-C., Chang, C.-P., & Chen, P.-F. (2008). Energy-income causality in OECD countries revisited: The key role of capital stock. *Energy Economics*, 30(5), 2359-2373. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2008.01.005>
- León, D., & Ríos, H. (2013). Convergencia regional en el índice de desarrollo humano en Colombia. *Equidad & Desarrollo*, 20, 105-141.
- Leyva, S., Herrera, B., & Cadena, Á. (2014). Actualización de escenarios de oferta y demanda de hidrocarburos en Colombia. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*(40), 69-80.

- Li, M. (2011). *Peak Energy and the Limits to Global Economic Growth*. Department of Economics. University of Utah. Salt Lake City, USA. Recuperado de <http://content.csbs.utah.edu/~mli/Annual%20Reports/Annual%20Report%202011.pdf>
- Lin, B.-q., & Liu, J.-h. (2010). Estimating coal production peak and trends of coal imports in China. *Energy Policy*, 38(1), 512-519. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.042>
- Londoño, A. F. (2010). El panorama mundial general de la contratación de exploración y explotación de hidrocarburos y la ubicación del contrato e&p colombiano en éste. *Revista de Derecho Público*, 25, 1-33.
- López, E., Montes, E., Garavito, A., & Collazos, M. M. (2013). La economía petrolera en Colombia (Parte II). Relaciones intersectoriales e importancia en la economía nacional (Vol. 748, pp. 1-57): Banco de la República.
- Lucato, W., Júnior, M., & da Silva, J. (2013). Measuring the ecoefficiency of a manufacturing process: a conceptual proposal. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 24(6), 755-770.
- Llinás, M. (2002). Incidencia de la volatilidad de los precios del petróleo en la determinación del ciclo económico colombiano *Desarrollo y Sociedad*, 50, 1-66.
- Machiba, T. (2010). Eco-innovation for enabling resource efficiency and green growth: development of an analytical framework and preliminary analysis of industry and policy practices. *International Economics & Economic Policy*, 7(2/3), 357-370. doi:10.1007/s10368-010-0171-y
- Maggio, G., & Cacciola, G. (2009). A variant of the Hubbert curve for world oil production forecasts. *Energy Policy*, 37(11), 4761-4770. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.053>
- Maggio, G., & Cacciola, G. (2012). When will oil, natural gas, and coal peak? *Fuel*, 98(0), 111-123. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.03.021>
- Mahadevan, R., & Asafu-Adjaye, J. (2007). Energy consumption, economic growth and prices: A reassessment using panel VECM for developed and developing countries. *Energy Policy*, 35(4), 2481-2490. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2006.08.019>
- Mankiw, N. G. (2002). *El crecimiento económico colombiano en el siglo XX Macroeconomía* (6ª ed. ed.). Bogotá: Banco de la República; Fondo de Cultura Económica; Antoni Bosch.
- Mankiw, N. G. (2009). *Macroeconomics* (7th ed. ed.). New York :: Worth Publishers.
- Martinez-Alier, J. (2006). Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad. *Polis. Revista Latinoamericana*, 13, 1-13. Recuperado de <http://polis.revues.org/5359#quotation>
- Martinez-Alier, J., Kallis, G., Veuthey, S., Walter, M., & Temper, L. (2010). Social Metabolism, Ecological Distribution Conflicts, and Valuation Languages. *Ecological Economics*, 70(2), 153-158. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.024>
- Martínez, A., & Aguilar, T. (2012). *Impacto socioeconómico de la minería en Colombia*. FEDESARROLLO. Bogotá D.C. Recuperado de [http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/11445/375/1/Impacto-socioecon%C3%B3mico-de-la-miner%C3%ADa-en-Colombia-Informe Impacto de la miner%C3%ADa Final-26-abril.pdf](http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/11445/375/1/Impacto-socioecon%C3%B3mico-de-la-miner%C3%ADa-en-Colombia-Informe%20Impacto%20de%20la%20miner%C3%ADa%20Final-26-abril.pdf)
- Martínez, A., & Aguilar, T. (2013). Estudio sobre los impactos socio-económicos del sector minero en Colombia: encadenamientos sectoriales. *Cuadernos Fedesarrollo*, 47, 1-97. Recuperado de <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/11445/370/1/Estudio-sobre-los-impactos-socio-econ%C3%B3micos-del-sector-minero-en-Colombia-Informe-La-miner%C3%ADa-en-Colombia-180513.pdf>
- Masih, A. M. M., & Masih, R. (1996). Energy consumption, real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error-correction

- modelling techniques. *Energy Economics*, 18(3), 165-183. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0140-9883\(96\)00009-6](http://dx.doi.org/10.1016/0140-9883(96)00009-6)
- Masih, A. M. M., & Masih, R. (1997). On the temporal causal relationship between energy consumption, real income, and prices: Some new evidence from Asian-energy dependent NICs Based on a multivariate cointegration/vector error-correction approach. *Journal of Policy Modeling*, 19(4), 417-440. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0161-8938\(96\)00063-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0161-8938(96)00063-4)
- Masih, A. M. M., & Masih, R. (1998). A multivariate cointegrated modelling approach in testing temporal causality between energy consumption, real income and prices with an application to two Asian LDCs. *Applied Economics*, 30(10), 1287-1298. doi:10.1080/000368498324904
- Mata, B. H. (2004). *Nociones Elementales de Cointegración. Enfoque de Soren Johansen*. Trabajo no publicado. Universidad de los Andes.
- Matos, G., & Wagner, L. (1998). CONSUMPTION OF MATERIALS IN THE UNITED STATES, 1900-1995. *Annual Review of Energy & the Environment*, 23(1), 107.
- Matsuyama, K. (1992). Agricultural productivity, comparative advantage, and economic growth. *Journal of economic theory*, 58(2), 317-334.
- MCIT. (2010). *La estructura de exportaciones colombianas: con necesidad de cambio*. Bogotá: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo Recuperado de www.mincit.gov.co/descargar.php?id=23053.
- Meadows, D. (2009). *Thinking in Systems: A Primer* (D. Wright Ed. ilustrada, reimpressa ed.). London: Earthscan.
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*. México: Fondo de cultura económica.
- Meadows, D. H., Randers, J., Meadows, D. L., & Pawlowsky, S. (2006). *Los límites del crecimiento: 30 años después*. Barcelona: Galaxia Gutenberg.
- Medlock, K., & Soligo, R. (2001). Economic Development and End-Use Energy Demand. *Energy Journal*, 22(2), 77.
- Mehlum, H., Moene, K., & Torvik, R. (2002). *Institutions and the resource curse*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10419/63059>
- Mehlum, H., Moene, K., & Torvik, R. (2006). Cursed by Resources or Institutions? *World Economy*, 29(8), 1117-1131. doi:<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/%28ISSN%291467-9701/issues>
- Meier, G. M., & Seers, D. (1986). *Pioneros del Desarrollo*. Madrid: Tecnos.
- Meisel, A. (2007). *Las economías departamentales del Caribe continental colombiano* (A. Meisel Ed.). Cartagena: Banco de la República.
- Miret, L., Segarra, M. d. V., & Peiró, Á. (2011). ¿Cómo medimos la Ecoinnovación?: análisis de indicadores en el Sector Turístico. *Tec Empresarial*, 5(2), 15-25. Recuperado de
- Mirre Gavalda, J. C. (2012). *El timo del fin del petróleo: tenemos petróleo de sobra hasta el final del siglo XXI*. España: Bubok Publishing S.L.
- MMEC. (2003). *Glosario Técnico Minero*. Recuperado de <http://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- MMEC. (2011). *Memorias al Congreso de la República 2010-2011*. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.
- Mohammadi, H., & Parvaresh, S. (2014). Energy consumption and output: Evidence from a panel of 14 oil-exporting countries. *Energy Economics*, 41, 41-46. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.002>
- Mohr, S. H., Wang, J., Ellem, G., Ward, J., & Giurco, D. (2015). Projection of world fossil fuels by country. *Fuel*, 141, 120-135. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.10.030>
- Mommer, B. (2000). *The governance of international oil: the changing rules of the game*. Inglaterra: Oxford Institute for Energy Studies.

- Montero, R. (2010). *Panel dinámico*. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada. España.
- Morales-Torrado, C. A. (2011). Variedades de recursos naturales y crecimiento económico. *Desarrollo y Sociedad*(68), 7-45.
- Morecroft, J. D. W., & van der Heijden, K. A. J. M. (1992). Modelling the oil producers — Capturing oil industry knowledge in a behavioural simulation model. *European Journal of Operational Research*, 59(1), 102-122. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90009-X](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(92)90009-X)
- Morimoto, R., & Hope, C. (2004). The impact of electricity supply on economic growth in Sri Lanka. *Energy Economics*, 26(1), 77-85. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883\(03\)00034-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883(03)00034-3)
- Morin, E. U. (2006). *El Método 1: La naturaleza de la Naturaleza*: Ediciones Cátedra.
- Morley, S. A. (2000). Efectos del crecimiento y las reformas económicas sobre la distribución del ingreso en América Latina. *REVISTA DE LA CEPAL*, 71, 23-41. Recuperado de
- Mundial, B. (2015). *Indicadores de Desarrollo Mundial* [Archivo de datos]. Recuperado de: <http://databank.bancomundial.org/data/reports.aspx?source=indicadores-del-desarrollo-mundial&Type=TABLE>
- Muñoz, P., Strohmaier, R., & Roca, J. (2011). On the North–South trade in the Americas and its ecological asymmetries. *Ecological Economics*, 70(11), 1981-1990. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.05.012>
- Muradian, R., & Martinez-Alier, J. (2001). South–North Materials Flow: History and Environmental Repercussions. *Innovation: The European Journal of Social Sciences*, 14(2), 171-187. doi:10.1080/13511610120062344
- Naredo, J. M. (2004a). La economía en evolución: invento y configuración de la economía en los siglos XVIII y XIX y sus consecuencias actuales. *Manuscrits: Revista d'història mederna*, 22, 83-117.
- Naredo, J. M. (2004b). La economía en evolución: invento y configuración de la economía en los siglos XVIII y XIX y sus consecuencias actuales. *Manuscrits: Revista d'història mederna*, 22, 83-117.
- Naredo, J. M. (2006a). *Raíces económicas del deterioro ecológico y social : más allá de los dogmas*. Madrid :: Siglo XXI.
- Naredo, J. M. (2006b). *Raíces económicas del deterioro ecológico y social: más allá de los dogmas*. Madrid: Siglo XXI.
- Norman, C. S. (2009). Rule of law and the resource curse: Abundance versus intensity. *Environmental and Resource Economics*, 43(2), 183-207.
- Nussbaumer, P., Bazilian, M., & Modi, V. (2012). Measuring energy poverty: Focusing on what matters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 231-243. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.150>
- Ocampo, J. (1999). Crisis Mundial y Cambio Estructural (1929-1945). In J. A. Ocampo (Ed.), *Historia económica de Colombia* (Segunda Edición ed.). Bogotá D.C.: Siglo Veintiuno Editores.
- Ocampo, J. A. (1999). Una Década de Grandes Transformaciones Económicas, 1986-1995. In J. A. Ocampo (Ed.), *Historia económica de Colombia* (Vol. VIII). Bogotá D.C.: Siglo Veintiuno Editores.
- OCDE. (2008). *Sustainable manufacturing and eco-innovation: framework, practices and measurement synthesis repor* . Recuperado de OCyT. (2013). Indicadores de ciencia y tecnología Colombia 2013. Bogotá: Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología.
- OCyT. (2014). *Indicadores de ciencia y tecnología 2014*. Recuperado de Bogotá:
- OECD. (2008). *Measuring Material Flows and Resource Productivity* Vol. I. Recuperado de <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/MFA-Guide.pdf>
- OECD. (2011). *Hacia un mecanismo para el diálogo de políticas de innovación: Oportunidades y desafíos para américa latina y el caribe*. Recuperado de

- OECD. (2014a). *OECD Reviews of Innovation Policy: Colombia 2014*: OECD Publishing.
- OECD. (2014b). *Perspectivas de la OCDE sobre ciencia, tecnología e industria 2014 (Version abreviada)*: OECD Publishing.
- Oh, W., & Lee, K. (2004). Causal relationship between energy consumption and GDP revisited: the case of Korea 1970–1999. *Energy Economics*, 26(1), 51-59. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883\(03\)00030-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883(03)00030-6)
- OLADE. (2011). *Manual de Estadísticas Energéticas*.
- Olaya, & Dynner. (2005). Modelling for policy assessment in the natural gas industry. *The Journal of the Operational Research Society*, 56(10), 1122-1131. doi:<http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601895>
- Olaya, A. (2008). Economía de la innovación y del cambio técnico: una aproximación teórica desde el pensamiento chumpeteriano. *Revista Ciencias Estratégicas*, 16, 20. Recuperado de
- Olivera, M., Zuleta, L. A., Aguilar, T. L., & Osorio, A. F. (2011). Impacto del sector de servicios petroleros en la economía colombiana. *Cuadernos Fedesarrollo*, 36, 1-71. Recuperado de <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/163> doi:<http://hdl.handle.net/11445/163>
- Ossowski, R., Villafuerte, M., Medas, P., & Thomas, T. (2008). The Role of Fiscal Institutions in Managing the Oil Revenue Boom. *IMF Occasional Paper*, 260, 1-45.
- Ouedraogo, N. S. (2013). Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy*, 63, 28-41. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.067>
- Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy–growth nexus. *Energy Policy*, 38(1), 340-349. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.024>
- Papyrakis, E., & Gerlagh, R. (2004). The resource curse hypothesis and its transmission channels. *Journal of Comparative Economics*, 32(1), 181-193. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jce.2003.11.002>
- Papyrakis, E., & Gerlagh, R. (2007). Resource abundance and economic growth in the United States. *European Economic Review*, 51(4), 1011-1039. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.euroecorev.2006.04.001>
- Pardo, C. I. (2015). Energy and sustainable development in cities: A case study of Bogotá. *Energy*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.003>
- Parra, A. (2012). *CONEXIONES Y DIVERGENCIAS ENTRE EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y EL DECRECIMIENTO. Revisión crítica y debate sobre la sostenibilidad del desarrollo*. (Pregrado), Universidad Complutense de Madrid.
- Paul, S., & Bhattacharya, R. N. (2004). Causality between energy consumption and economic growth in India: a note on conflicting results. *Energy Economics*, 26(6), 977-983. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2004.07.002>
- Payne, J. E. (2009). On the dynamics of energy consumption and output in the US. *Applied Energy*, 86(4), 575-577. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.003>
- Payne, J. E. (2010). A survey of the electricity consumption-growth literature. *Applied Energy*, 87(3), 723-731. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.034>
- PBI-Colombia. (2011). *Mining in Colombia: At what cost?* Recuperado de http://www.peacebrigades.org/fileadmin/user_files/projects/colombia/files/colomPBI_a/111203_mining_in_colombia_web.pdf
- Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1995). *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Madrid: Celeste ediciones.
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 61(S1), 653-670.
- Pedroni, P. (2000). Fully Modified OLS for Heterogeneous Cointegrated Panels. In B. H. Baltagi (Ed.), *Nonstationary panels, panel cointegration, and dynamic panels* (pp. 93-130):

- Advances in Econometrics, vol. 15. Amsterdam; New York and Tokyo: Elsevier Science, JAI.
- Pedroni, P. (2001). Purchasing Power Parity Tests in Cointegrated Panels. *The review of Economics and Statistics*, 83(4), 727-731.
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis. *Econometric Theory*, 20(03), 597-625.
- Pérez, C. (2011). *Series Temporales : Técnicas y herramientas* (1ª ed., 1ª reimp. ed.). Madrid: Garceta Grupo Editorial.
- Pérez, M. (2003). Dimensiones biofísicas del comercio exterior colombiano: evidencias de intercambio ecológicamente desigual para el período 1970-2002. *Economía industrial*, 352, 95-120. Recuperado de
- Pérez, M. (2006a). Colombian international trade from a physical perspective: Towards an ecological "Prebisch thesis". *Ecological Economics*, 59(4), 519-529. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.013>
- Pérez, M. (2006b). *Comercio Internacional y Medio Ambiente en Colombia*. (Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales), Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.
- Perilla, J. R. (2010). El impacto de los precios del petróleo sobre el crecimiento económico en Colombia. *Revista de Economía del Rosario*, 13(1), 75-116.
- Perla, C. (2012). ¿Cuál es el destino de los países abundantes en recursos minerales? Nueva evidencia sobre la relación entre recursos naturales, instituciones y crecimiento económico. *Economía*, 27(53-54), 99-172. Recuperado de
- Perry, G., Ogunkola, O., Olivera, M., & Fowowe, B. (2010). *Oil and Institutions "Tale of two cities": Nigeria and Colombia*. FEDESARROLLO. Recuperado de http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/11445/366/1/Oil-and-institutions-Tale-of-two-cities-Nigeria_Colombia_Oil_Institutions_May_Versionmolivera-2010.pdf
- Perry, G., & Olivera, M. (2009). *El impacto del petróleo y la minería en el desarrollo regional y local en Colombia*. Recuperado de <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/244>
- Perry, G., & Olivera, M. (Eds.). (2012). *Petróleo y minería: ¿bendición o maldición?* (Primera edición ed.). Bogotá D.C.: Banco Mundial, Fedesarrollo.
- Perry, G., Olivera, M., Aguilar, T., Bustos, S., Cortés, S., Fowowe, B., . . . Restrepo, P. (2012). *Petróleo y minería: ¿bendición o maldición?* (G. Perry & M. Olivera Eds. Primera edición ed.). Bogotá D.C.
- Phillips, P., & Perron, P. (1988). Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346. doi:10.2307/2336182
- Phillips, P. C. B., & Hansen, B. E. (1990). Statistical Inference in Instrumental Variables Regression with I(1) Processes. *The Review of Economic Studies*, 57(1), 99-125. doi:10.2307/2297545
- Phillips, P. C. B., & Ouliaris, S. (1990). Asymptotic properties of residual based tests for cointegration. *Econometrica*, 58(1), 165-193.
- Pigou, A. C. (1920). *The Economics Of Welfare*. Londres.
- PNUMA. (2010). Anuario avances y progresos científicos en nuestro cambiante medio ambiente 2010. Recuperado de
- PNUMA. (2011). *Desacoplar el uso de los recursos naturales y los impactos ambientales del crecimiento económico* (978-92-807-3185-9). Recuperado de París:
- Prescott, E. C. (1998). Needed: A theory of total factor productivity. *International Economic Review*, 39(3), 525.
- Ramírez, J. M. (2008). Génesis y evolución de la idea de desarrollo. De la inevitabilidad del desarrollo al debate sobre su pertinencia. In L. M. Puerto (Ed.), *Economía para el desarrollo: lecturas desde una perspectiva crítica*. Madrid: Catarata.

- Ramírez, J. M. (2014). Has Bolivia's 2006–12 gas policy been useful to combat the resource curse? *Resources Policy*, 41(0), 113-123. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2014.04.005>
- Ramos, A. (2010). *La Metodología de la Economía Aplicada*. Notas de Clase. Departamento de Economía Aplicada I. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- Ramos, J. L. (2005). Medio Natural y pensamiento económico. Historia de un reencuentro. *Principios: Estudios de economía política*, 2, 47-70. Recuperado de
- Ranis, G., & Stewart, F. (2002). Crecimiento económico y desarrollo humano en América Latina. *REVISTA DE LA CEPAL*, 78, 7-24. Recuperado de
- Ravallion, M., Heil, M., & Jalan, J. (1997). *A less poor world, but a hotter one? carbon emissions, economic growth and income inequality*. Article. Oxford Economic Papers. Washington DC. Recuperado de <http://library.isical.ac.in/jspui/handle/10263/4532>
- Ravallion, M., Heil, M., & Jalan, J. (2000). Carbon Emissions and Income Inequality. *Oxford Economic Papers*, 52(4), 651-669. doi:<http://oep.oxfordjournals.org/content/by/year>
- Regúlez, M. (2008). *Ecuaciones simultáneas con aplicaciones en Gretl*. Departamento de Economía Aplicada III. Universidad del País Vasco (UPV-EHU). Bizkaia.
- Reid, A., & Miedzinski, M. (2008a). Eco-innovation Final Report for sectoral innovation watch. *Europe Innova*. Recuperado de
- Reid, A., & Miedzinski, M. (2008b). *Sectoral Innovation Watch in Europe-Eco-Innovation*. Recuperado de Brussels:
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32(2), 319-332. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00112-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00112-3)
- Reyes, R., Galván, L., & Aguiar, M. (2005). El precio de la contaminación como herramienta económica e instrumento de política ambiental. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 30(7), 436-441. Recuperado de
- Rist, G. (2002). *El Desarrollo: historia de una creencia occidental*. Madrid: Catarata.
- Robinson, J. A., Torvik, R., & Verdier, T. (2006). Political foundations of the resource curse. *Journal of Development Economics*, 79(2), 447-468. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jdeveco.2006.01.008>
- Roca, J. (2008). El metabolismo de la economía española. Recursos naturales y huella ecológica (1955–2000), Óscar Carpintero. Fundación César Manrique, Lanzarote (2005). *Investigaciones de Historia Económica*, 4(11), 209-212. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S1698-6989\(08\)70167-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1698-6989(08)70167-X)
- Rodríguez, H. (2011). Estudio del Fenómeno de la Inflación Importada Vía Precios del Petróleo y su Aplicación al Caso Colombiano Mediante el Uso de Modelos VAR Para el Periodo 2000-2009. *Estudios Gerenciales*, 27(121), 79-97. Recuperado de <http://ez.urosario.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=74295179&lang=es&site=ehost-live>
- Rodríguez, I. (2012). La "Nave Espacial Tierra" de Kenneth Boulding. *Revista de Economía Crítica*, 14, 320-326. Recuperado de
- Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71-S102. doi:10.2307/2937632
- Ross, M. L. (1999). The political economy of the resource curse. *World Politics*, 51(2), 297-322. Recuperado de
- Ross, M. L. (2001). Does oil hinder democracy? *World Politics*, 53(03), 325-361 %@ 1086-3338.
- Russi, D., Gonzalez-Martinez, A. C., Silva-Macher, J. C., Giljum, S., Martínez-Alier, J., & Vallejo, M. C. (2008). Material Flows in Latin America. *Journal of Industrial Ecology*, 12(5/6), 704-720. doi:10.1111/j.1530-9290.2008.00074.x
- Sachs, J. D., & Warner, A. M. (1995). *Natural Resource Abundance and Economic Growth*. National Bureau of Economic Research, Inc, NBER Working Papers: 5398. Recuperado de

- <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eoh&AN=0718646&lang=es&site=ehost-live>
- Sachs, J. D., & Warner, A. M. (1999). The big push, natural resource booms and growth. *Journal of Development Economics*, 59(1), 43-76. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3878\(99\)00005-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3878(99)00005-X)
- Sachs, J. D., & Warner, A. M. (2001). The curse of natural resources. *European Economic Review*, 45(4-6), 827-838. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0014-2921\(01\)00125-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00125-8)
- Sala-i-Martin, X., & Subramanian, A. (2013). Addressing the Natural Resource Curse: An Illustration from Nigeria. *Journal of African Economies*, 22(4), 570-615. doi:<http://jae.oxfordjournals.org/content/by/year>
- Sánchez, A. (2011). El gas de La Guajira y sus efectos económicos sobre el departamento. Recuperado de
- Santamaría, L., Nieto, M. J., & Barge-Gil, A. (2009). Beyond formal R&D: Taking advantage of other sources of innovation in low- and medium-technology industries. *Research Policy*, 38(3), 507-517. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2008.10.004>
- Schaffartzik, A., Mayer, A., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Loy, C., & Krausmann, F. (2014). The global metabolic transition: Regional patterns and trends of global material flows, 1950-2010. *Global Environmental Change*, 26(0), 87-97. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.03.013>
- Schandl, H., Grünbühel, C. M., Haberl, H., & Weisz, H. (2002). *Handbook of Physical Accounting Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities MFA – EFA – HANPP*. Working Paper. No. 73. IFF/Social Ecology. Vienna.
- Segarra, M., A., P., Miret, L., & Albors, J. (2011). ¿Eco-innovación, una evolución de la innovación? Análisis empírico en la industria cerámica española. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 50(5), 219-228. Recuperado de <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27899/eco%20innovacion%20Segarra%20et%20al..pdf?sequence=1> doi:10.3989/cyv.332011
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147-162. doi:<http://dx.doi.org/10.1006/jeem.1994.1031>
- Sen, A. (1988). Chapter 1 The concept of development. In T. N. S. Hollis Chenery and (Ed.), *Handbook of Development Economics* (Vol. Volume 1, pp. 9-26): Elsevier.
- Shahiduzzaman, M., & Alam, K. (2012). Cointegration and causal relationships between energy consumption and output: Assessing the evidence from Australia. *Energy Economics*, 34(6), 2182-2188. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2012.03.006>
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, 48(1), 1-48. doi:10.2307/1912017
- Sims, C. A. (1981). Money, Income, and Causality *Rational Expectations and Econometric Practice* (NED - New edition ed., pp. 387-404): University of Minnesota Press.
- Sivickas, G., & Streimikiene, D. (2008). New Eco-efficiency Concepts and Their Challenges For Lithuania. *Economics & Management*, 712-717.
- Sjö, B. (2008). Testing for unit roots and cointegration. *Nationalekonomiska institutionen, Linköpings Universitet*.
- Solow, R. M. (1956). A CONTRIBUTION TO THE THEORY OF ECONOMIC GROWTH. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Solow, R. M. (1957). TECHNICAL CHANGE AND THE AGGREGATE PRODUCTION FUNCTION. *The review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320.
- Solow, R. M. (1974). The Economics of Resources or the Resources of Economics. *The American Economic Review*, 64(2), 1-14. Recuperado de [http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/documents/Solow Resources.pdf](http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/documents/Solow%20Resources.pdf)
- Solow, R. M. (1986). On the Intergenerational Allocation of Natural Resources. *The Scandinavian Journal of Economics*, 88(1), 141-149. doi:10.2307/3440280

- Sorrell, S., Speirs, J., Bentley, R., Brandt, A., & Miller, R. (2010). Global oil depletion: A review of the evidence. *Energy Policy*, 38(9), 5290-5295. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.046>
- Soytas, U., & Sari, R. (2003). Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. *Energy Economics*, 25(1), 33-37. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883\(02\)00009-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883(02)00009-9)
- Soytas, U., & Sari, R. (2009). Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*, 68(6), 1667-1675. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.06.014>
- Soytas, U., Sari, R., & Ewing, B. T. (2007). Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*, 62(3-4), 482-489. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.07.009>
- Soytas, U., Sari, R., & Ozdemir, O. (2001). Energy consumption and GDP relation in Turkey: a cointegration and vector error correction analysis. *Economies and Business in Transition: Facilitating Competitiveness and Change in the Global Environment Proceedings*, 838-844.
- Stern, D. I. (1993). Energy and economic growth in the USA: A multivariate approach. *Energy Economics*, 15(2), 137-150. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0140-9883\(93\)90033-N](http://dx.doi.org/10.1016/0140-9883(93)90033-N)
- Stern, D. I. (2000). A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy Economics*, 22(2), 267-283. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883\(99\)00028-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883(99)00028-6)
- Stijns, J.-P. C. (2005). Natural resource abundance and economic growth revisited. *Resources Policy*, 30(2), 107-130. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2005.05.001>
- Stock, J. H., Wright, J. H., & Yogo, M. (2002). A Survey of Weak Instruments and Weak Identification in Generalized Method of Moments. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(4), 518-529.
- Strulik, H. (2012a). Poverty, voracity, and growth. *Journal of Development Economics*, 97(2), 396-403. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jdeveco.2011.06.007>
- Strulik, H. (2012b). The voracity effect revisited. *Mathematical Social Sciences*, 64(3), 272-276. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.mathsocsci.2012.05.007>
- Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32(2), 334-361.
- Tamayo, D. C., & Ramírez, J. (2014). *Relación entre desacoplamiento y flujo de materiales en la economía colombiana, análisis para el período 200-2010 en el sector de los combustibles fósiles*. (Pregrado), Universidad de la Salle, Bogotá D.C.
- Tarazona, M. (1999). El cambio climático en el desarrollo económico: revisión de la hipótesis de Kuznets. *Revista Desarrollo Y Sociedad*, 43, 173-224.
- Toman, M. A., & Jemelkova, B. (2003). Energy and Economic Development: An Assessment of the State of Knowledge. *Energy Journal*, 24(4), 93-112.
- Tornell, A., & Lane, P. R. (1999). The Voracity Effect. *American Economic Review*, 89(1), 22-46.
- Triguero, A., Moreno-Mondéjar, L., & Davia, M. A. (2013). Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs. *Ecological Economics*, 92(0), 25-33. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.04.009>
- UPME. (2004). Cadena del Carbón. Fuente de energía para el mundo. Bogotá D.C.
- UPME. (2006). *La cadena del Gas Natural en Colombia*. Recuperado de Bogotá D.C.:
- UPME. (2009). Cadena del Petróleo 2009. Bogotá D.C.
- UPME. (2011). Informe Final Tomo I - Balances Energéticos Nacionales de Colombia 1974-2009 (serie actualizada y revisada). Bogotá D.C.
- UPME. (2012a). Cadena del Carbón. Bogotá D.C.
- UPME. (2012b). *Escenarios de Oferta y Demanda de Hidrocarburos en Colombia*. UPME - Ministerio de Minás y Energía. Bogotá D.C. Recuperado de

- <http://www1.upme.gov.co/publicaciones-petroleo/escenarios-de-oferta-y-demanda-de-hidrocarburos-en-colombia>
- UPME. (2013). Cadena del Petróleo 2013. Bogotá D.C.
- UPME. (2014a). Cadena del petróleo. Bogotá D.C.
- UPME. (2014b). *Resumen Ejecutivo UPME 2014* (UPME Ed.). Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.
- UPME, & UNAL. (2014). *Simulación y Evaluación del Impacto de Estrategias en el Desarrollo del Sector Minero 2014 – 2032*. Recuperado de <http://www1.upme.gov.co/estudios-realizados-y-publicaciones>
- Urrutia, M. (2008). Los eslabonamientos y la historia económica de Colombia. *Desarrollo y Sociedad*, 62(julio-diciembre), 67-88.
- Vallejo, M. C. (2010). Biophysical structure of the Ecuadorian economy, foreign trade, and policy implications. *Ecological Economics*, 70(2), 159-169. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.03.006>
- Vallejo, M. C., Pérez, M., & Martinez-Alier, J. (2011). Metabolic Profile of the Colombian Economy from 1970 to 2007. *Journal of Industrial Ecology*, 15(2), 245-267. doi:10.1111/j.1530-9290.2011.00328.x
- van der Ploeg, F. (2010). Why do many resource-rich countries have negative genuine saving?: Anticipation of better times or rapacious rent seeking. *Resource and Energy Economics*, 32(1), 28-44. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.reseneeco.2009.07.002>
- van der Ploeg, F. (2011). Natural Resources: Curse or Blessing? *Journal of Economic Literature*, 49(2), 366-420. doi:<http://dx.doi.org/10.1257/jel.49.2.366>
- van der Ploeg, F., & Poelhekke, S. (2010). The pungent smell of “red herrings”: Subsoil assets, rents, volatility and the resource curse. *Journal of Environmental Economics and Management*, 60(1), 44-55. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2010.03.003>
- Vasquez, H. (2012). La historia del petróleo en Colombia. *Revista Universidad EAFIT*, 30(93), 99-109.
- Vélez-Torres, I. (2014). Governmental extractivism in Colombia: Legislation, securitization and the local settings of mining control. *Political Geography*, 38(0), 68-78. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.polgeo.2013.11.008>
- Verfaillie, H. A., & Bidwell, R. (2000). *Measuring eco-efficiency : a guide to reporting company performance*. Geneva: World Business Council for Sustainable Development.
- Villafuerte, M., & Lopez-Murphy, P. (2010). Fiscal policy in oil producing countries during the recent oil price cycle. *IMF Working Papers*, WP/10/28, 1-23.
- Wagner, M. (2008). Empirical influence of environmental management on innovation: Evidence from Europe. *Ecological Economics*, 66(2–3), 392-402. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.10.001>
- Wang, Y., Kang, L., Wu, X., & Xiao, Y. (2013). Estimating the environmental Kuznets curve for ecological footprint at the global level: A spatial econometric approach. *Ecological Indicators*, 34(0), 15-21. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.021>
- WEF. (2014). *The Global Competitiveness Report 2014–2015*. Recuperado de Geneva:
- Weisz, H., Krausmann, F., Amann, C., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Hubacek, K., & Fischer-Kowalski, M. (2006). The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption. *Ecological Economics*, 58(4), 676-698. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.08.016>
- West, J., & Schandl, H. (2013). Material use and material efficiency in Latin America and the Caribbean. *Ecological Economics*, 94(0), 19-27. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.015>
- Windmeijer, F. (2005). A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators. *Journal of Econometrics*, 126(1), 25-51. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeconom.2004.02.005>

- Wooldridge, J. M. (2006). *Introducción a la econometría: un enfoque moderno* (2ª ed. ed.). Madrid: Thomson.
- WorldBank. (2010). *Colombia Sostenible: manteniendo el bienestar en un mundo de recursos limitados*. Recuperado de Washington, DC: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2010/08/16421046/sustainable-colombia-comprehensive-colombian-footprint-review-colombia-sostenible-manteniendo-el-bienestar-en-un-mundo-de-recursos-limitados>
- Wuyts, M. (1992). Theory, Fact and Method. *SOAS: Research Method in Financial Economics*, SOAS, University of London.
- Yang, B. (2010). Resource curse: the role of institutions versus policies. *Applied Economics Letters*, 17(1), 61-66. doi:10.1080/13504850701719736
- Yoo, S. H. (2006). The causal relationship between electricity consumption and economic growth in the ASEAN countries. *Energy Policy*, 34(18), 3573-3582. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2005.07.011>
- Yu, E. S., & Choi, J.-Y. (1985). Causal relationship between energy and GNP: an international comparison. *J. Energy Dev. (United States)*, 10(2).
- Yu, E. S. H., & Hwang, B.-K. (1984). The relationship between energy and GNP: Further results. *Energy Economics*, 6(3), 186-190. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0140-9883\(84\)90015-X](http://dx.doi.org/10.1016/0140-9883(84)90015-X)
- Yu, E. S. H., & Jin, J. C. (1992). Cointegration tests of energy consumption, income, and employment. *Resources and Energy*, 14(3), 259-266. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0165-0572\(92\)90010-E](http://dx.doi.org/10.1016/0165-0572(92)90010-E)
- Yu, Y., Chen, D., Zhu, B., & Hu, S. (2013). Eco-efficiency trends in China, 1978–2010: Decoupling environmental pressure from economic growth. *Ecological Indicators*, 24(0), 177-184. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.06.007>
- Ziegler, A., & Seijas Nogareda, J. (2009). Environmental management systems and technological environmental innovations: Exploring the causal relationship. *Research Policy*, 38(5), 885-893. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2009.01.020>

8. ANEXOS

ANEXO 1. Definiciones de combustibles fósiles

Petróleo	Es un energético natural de origen fósil. Como denominación genérica según la OLADE, recibe el nombre de petróleo primario el conjunto de hidrocarburos que constituyen los principales insumos a refinerías y plantas de fraccionamiento, a partir de los cuales se obtienen los productos petroleros secundarios (OLADE, 2011), y puede encontrarse en estado líquido o gaseoso, por lo que se divide en tres categorías: petróleo crudo, líquidos de gas natural (LGN) y otros hidrocarburos. En el presente proyecto de investigación el término petróleo y, por tanto, la variable con el mismo nombre utilizada en todos los análisis hace referencia únicamente al petróleo crudo, salvo en los apartados en los que expresamente se diga la forma en que está configurada está variable.
Gas Natural	Es un hidrocarburo en estado gaseoso y al igual que en el caso anterior, es de origen fósil. Se encuentra entre la porosidad de las rocas subterráneas, o atrapado bajo capas de rocas sólidas, formando de esta manera un yacimiento. Incluye tanto el gas natural libre o no asociado (mezcla gaseosa de hidrocarburos constituida principalmente por el metano obtenido de los campos de gas; también recibe el nombre de gas seco), como el gas natural asociado (mezcla gaseosa de hidrocarburos que se produce de forma asociada al petróleo crudo en un yacimiento; también recibe el nombre de gas húmedo). Puesto que el gas natural asociado como el no asociado se les considera dentro de la misma fuente energética por ser de naturaleza y usos similares (OLADE, 2011) se computan convencionalmente en la misma clasificación, por lo que para efectos de esta investigación se utiliza el término (y la variable) gas natural como la suma del gas natural asociado y no asociado.
Carbón Mineral	La OLADE define el carbón mineral como... “un mineral combustible sólido compuesto principalmente de carbono, así como de bajas concentraciones de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre entre otros elementos. Es el resultado de la degradación de organismos vegetales durante extensos períodos de tiempo y exposiciones a diferentes grados de calor, presión y otros fenómenos físico, químicos y naturales, por lo que el carbón mineral no es un mineral uniforme; debido a estas características se subdivide de acuerdo a su grado de degradación en lignitos, antracitas, sub bituminosos y bituminosos, diferenciándose en su poder calorífico, contenido de volátiles y carbono fijo. En términos de uso final, el carbón mineral se puede dividir en dos clases: carbón coquizable o metalúrgico y carbón térmico o de vapor” ²⁵⁴ . Puesto que la producción de carbón mineral en Colombia está compuesta por antracita, metalúrgico y térmico, se delimita el término y la variable “Carbón” a la suma de estos tres tipos de carbón que representan en promedio, entre 1990 y 2012, el 0,02%, 5,82% y 94,16% de la producción nacional respectivamente.

Nota. Aunque la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la Organización de Países Productores y Exportadores de Petróleo (OPEP) y la agencia de Administración de Información de Energía de Estados Unidos (EIA), también presentan definiciones de los combustibles fósiles, se utiliza en este trabajo de investigación las definiciones de Organización Latino Americana de Energía (OLADE). Elaborado por el Autor con base en el anuario estadístico (2011) de la Organización Latino Americana de Energía.

²⁵⁴ El carbón metalúrgico es un combustible sólido utilizado para la producción de coque, que es un producto empleado en la fabricación del acero. El carbón térmico o de vapor se utiliza como combustible en la producción de calor y en la generación de vapor de agua, tanto para la generación de electricidad como para procesos industriales (OLADE, 2011).

ANEXO 2. Pruebas de Raíz Unitaria

Variable	Prueba de Raíz Unitaria ADF ^a				Prueba de Raíz Unitaria PP				Prueba de Raíz Unitaria KPSS			
	Nivel		Primera diferencia		Nivel		Primera diferencia		Nivel		Primera diferencia	
	Const.	Const. y tendencia	Const.	Const. y tendencia	Const.	Const. y tendencia	Const.	Const. y tendencia	Const.	Const. y tendencia	Const.	Const. y tendencia
Y	-0.418(2)	-2.904(1)	-4.523(1)***	-4.519(1)***	-1.221(1)	-2.717(1)	-4.523(1)***	-4.519(1)***	0.831	0.1386**	0.178***	0.110***
K	-0.472(1)	-3.382(2)*	-6.192(1)***	-6.118(1)***	-0.378(1)	-2.982(1)	-6.218(1)***	-6.134(1)***	0.813	0.059*	0.051***	0.048***
L	0.11(1)	-2.448(2)	-3.562(1)**	-3.545(1)**	0.312(1)	-1.773(1)	-3.578(1)**	-3.567(1)**	0.815	0.141	0.124***	0.079***
E _t	-1,765(1)	-1,689(1)	-6,427(1)***	-6,792(1)***	-1,819(1)	-1,723(1)	-6,516(1)***	-6,794(1)***	0,798	0,184**	0,273***	0,109***
CO _{2t}	-1,945(1)	-2,347(1)	-6,416(1)***	-6,449(1)***	-2,013(1)	-2,347(1)	-6,416(1)***	-6,449(1)***	0,726**	0,169**	0,251***	0,116***
E _{cf}	-0.603(2)	-2.457(2)	-6.774(2)***	-6.738(2)***	-1.824(1)	-2.871(1)	-7.847(1)***	-7.871(1)***	0.684**	0.134*	0.155***	0.123***
CO _{2cf}	-2.026(2)	-3.164(1)	-5.767(2)***	-6.016(2)***	-2.945(1)**	-3.117(1)	-6.898(1)***	-8.591(1)***	0.734**	0.186	0.326***	0.122***

Nota. Todas las variables en logaritmo natural; los paréntesis indican el número de rezagos optimo, *, ** y *** indican significancia al 10, 5 y 1%, respectivamente.

^a Longitud de los rezagos determinado a través del criterio de información de Schwars.

Y: Logaritmo natural del PIB per cápita en dólares constantes de 2005.

E_t: Logaritmo natural del consumo de energía primaria total en tep.

E_{cf}: Logaritmo natural del consumo de energía primaria procedente de combustibles fósiles en tep.

CO_{2t}: Logaritmo natural de las emisiones de CO₂ totales en kilo toneladas.

CO_{2cf}: Logaritmo natural de las emisiones de CO₂ procedente de combustibles fósiles en kilo toneladas.

ADF: Prueba de Raíz Unitaria de Dickey-Fuller Aumentada.

PP: Prueba de Raíz Unitaria de Phillips-Perron.

KPSS: Prueba de Raíz Unitaria de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin.

ANEXO 3. Sistema VAR, pruebas de diagnóstico y VEC para modelo 1.

Sistema VAR para las series Y K L E_t CO_{2t}

Vector Autoregression Estimates

Sample (adjusted): 1973 2010

Included observations: 38 after adjustments

Standard errors in () & t-statistics in []

	Y	K	L	E _t	CO _{2t}
Y(-1)	1.265845 (0.25842) [4.89839]	1.991532 (1.54712) [1.28725]	0.026874 (0.17754) [0.15137]	0.642569 (0.33384) [1.92481]	0.677624 (0.40491) [1.67353]
Y0(-2)	-0.425258 (0.36719) [-1.15813]	0.079390 (2.19832) [0.03611]	0.297394 (0.25227) [1.17886]	-0.536592 (0.47435) [-1.13121]	0.028348 (0.57534) [0.04927]
Y(-3)	0.359028 (0.35054) [1.02421]	1.523398 (2.09864) [0.72590]	-0.215916 (0.24083) [-0.89654]	0.768494 (0.45284) [1.69705]	1.544641 (0.54925) [2.81228]
K(-1)	-0.072960 (0.05364) [-1.36006]	0.122469 (0.32116) [0.38133]	0.061844 (0.03686) [1.67801]	-0.134774 (0.06930) [-1.94479]	-0.302829 (0.08405) [-3.60281]
K(-2)	-0.020698 (0.05913) [-0.35003]	-0.205654 (0.35402) [-0.58091]	-0.079498 (0.04063) [-1.95683]	0.090457 (0.07639) [1.18416]	0.059785 (0.09265) [0.64527]
K(-3)	-0.015892 (0.04552) [-0.34912]	-0.282274 (0.27252) [-1.03580]	0.050610 (0.03127) [1.61830]	-0.108421 (0.05880) [-1.84379]	-0.098107 (0.07132) [-1.37554]
L(-1)	0.099081 (0.28953) [0.34222]	-0.789710 (1.73335) [-0.45560]	1.277341 (0.19891) [6.42159]	-0.756021 (0.37402) [-2.02134]	-1.013813 (0.45365) [-2.23481]
L(-2)	-0.570476 (0.50058) [-1.13962]	0.101468 (2.99691) [0.03386]	-0.088132 (0.34392) [-0.25626]	0.823584 (0.64667) [1.27358]	-0.048212 (0.78434) [-0.06147]
L(-3)	0.458635 (0.31619) [1.45052]	-0.343871 (1.89296) [-0.18166]	-0.305211 (0.21723) [-1.40501]	-0.457566 (0.40846) [-1.12022]	-0.293367 (0.49542) [-0.59216]
E _t (-1)	0.556702 (0.24334) [2.28771]	3.133838 (1.45686) [2.15109]	-0.191636 (0.16719) [-1.14625]	1.112459 (0.31436) [3.53881]	1.489678 (0.38128) [3.90699]
E _t (-2)	0.040437 (0.16625) [0.24323]	-1.067582 (0.99532) [-1.07260]	-0.057862 (0.11422) [-0.50658]	0.272649 (0.21477) [1.26950]	-0.184013 (0.26049) [-0.70640]

$E_t(-3)$	-0.514310 (0.22105) [-2.32671]	-2.662737 (1.32337) [-2.01209]	0.142408 (0.15187) [0.93773]	-0.799791 (0.28555) [-2.80084]	-1.096265 (0.34635) [-3.16522]
$CO2_t(-1)$	-0.318152 (0.19107) [-1.66514]	-1.766825 (1.14388) [-1.54459]	-0.083764 (0.13127) [-0.63811]	-0.196941 (0.24683) [-0.79790]	-0.414003 (0.29937) [-1.38290]
$CO2_t(-2)$	0.072342 (0.14865) [0.48666]	0.190345 (0.88995) [0.21388]	0.159762 (0.10213) [1.56433]	-0.280834 (0.19203) [-1.46243]	-0.458377 (0.23291) [-1.96801]
$CO2_t(-3)$	0.061745 (0.12209) [0.50575]	0.823849 (0.73091) [1.12715]	-0.043254 (0.08388) [-0.51568]	0.370612 (0.15772) [2.34988]	0.090144 (0.19129) [0.47124]
C	-2.329178 (3.14738) [-0.74004]	-40.93900 (18.8428) [-2.17266]	-1.242684 (2.16234) [-0.57469]	-9.526834 (4.06587) [-2.34312]	-25.58320 (4.93147) [-5.18774]
R-squared	0.998287	0.970342	0.998765	0.995240	0.984400
Adj. R-squared	0.997120	0.950121	0.997923	0.991994	0.973763
Sum sq. resids	0.009628	0.345085	0.004544	0.016067	0.023637
S.E. equation	0.020920	0.125242	0.014372	0.027025	0.032778
F-statistic	854.9127	47.98585	1185.996	306.6359	92.54759
Log likelihood	103.4132	35.40980	117.6775	93.68291	86.34856
Akaike AIC	-4.600694	-1.021569	-5.351446	-4.088574	-3.702556
Schwarz SC	-3.911184	-0.332059	-4.661936	-3.399064	-3.013046
Mean dependent	33.02906	31.22770	16.38455	16.88208	10.87886
S.D. dependent	0.389791	0.560778	0.315345	0.302031	0.202360
Determinant resid covariance (dof adj.)	1.11E-16				
Determinant resid covariance	7.23E-18				
Log likelihood	480.3040				
Akaike information criterion	-21.06863				
Schwarz criterion	-17.62108				

Nota: Y es el logaritmo natural del PIB real en pesos constantes de 2005; K es el logaritmo natural de la formación bruta de capital fijo en pesos constantes de 2005; L es el logaritmo natural de la fuerza laboral; E_t es el logaritmo natural del consumo de energía primaria en tep; y $CO2_t$ es el logaritmo natural de las emisiones de dióxido de carbono en kilo toneladas.

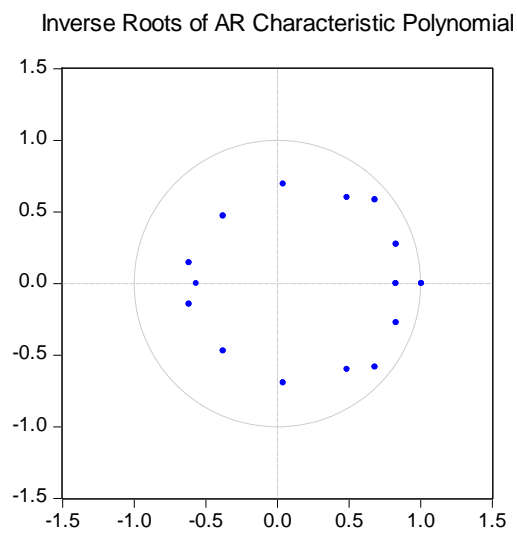
Tabla de raíces autorregresivas

Roots of Characteristic Polynomial
 Endogenous variables: Y K L E_t CO2_t
 Exogenous variables: C
 Lag specification: 1 3

Root	Modulus
1.006188	1.006188
0.682536 - 0.584236i	0.898436
0.682536 + 0.584236i	0.898436
0.829424 - 0.274679i	0.873724
0.829424 + 0.274679i	0.873724
0.828551	0.828551
0.488145 - 0.600248i	0.773681
0.488145 + 0.600248i	0.773681
0.041185 - 0.693559i	0.694781
0.041185 + 0.693559i	0.694781
-0.615654 - 0.144572i	0.632401
-0.615654 + 0.144572i	0.632401
-0.378503 - 0.471304i	0.604477
-0.378503 + 0.471304i	0.604477
-0.564895	0.564895

Warning: At least one root outside the unit circle.
 VAR does not satisfy the stability condition.
 Nota. El sistema es marginalmente estable

Raíz inversa del polinomio autorregresivo



Tanto la tabla como la gráfica de los valores propios *eigenvalues* indican que existe de una tendencia común, puesto que, sólo un eigenvalue se encuentra próximo al borde del círculo unidad. Esto sugiere la existencia de un único vector de cointegración.

Test de Causalidad de Granger y Test de Exogeneidad de Wald

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Sample: 1970 2012

Included observations: 38

Dependent variable: Y

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
K	3.564190	3	0.3125
L	2.652925	3	0.4483
E_t	6.174543	3	0.1034
$CO2_t$	4.558051	3	0.2072
All	14.24083	12	0.2856

Dependent variable: K

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	6.446257	3	0.0918
L	1.078385	3	0.7823
E_t	7.689242	3	0.0529
$CO2_t$	6.022204	3	0.1105
All	22.98119	12	0.0279

Dependent variable: L

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	3.553073	3	0.3139
K	4.781862	3	0.1885
E_t	1.965984	3	0.5795
$CO2_t$	2.569592	3	0.4628
All	16.07382	12	0.1879

Dependent variable: E_t

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	7.518220	3	0.0571
K	5.736434	3	0.1252
L	5.912948	3	0.1159
$CO2_t$	9.960428	3	0.0189
All	23.32572	12	0.0251

Dependent variable: CO2_t

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	28.55840	3	0.0000
K	15.63974	3	0.0013
L	28.30832	3	0.0000
E _t	15.84151	3	0.0012
All	62.53290	12	0.0000

Test de exclusión de Retardos

VAR Lag Exclusion Wald Tests

Sample: 1970 2012

Included observations: 38

Chi-squared test statistics for lag exclusion:

Numbers in [] are p-values

	Y	K	L	E _t	CO _{2,t}	Joint
Lag 1	44.70224 [1.67e-08]	18.44207 [0.002440]	49.35750 [1.88e-09]	37.74147 [4.25e-07]	27.77390 [4.03e-05]	153.5914 [0.000000]
Lag 2	2.278713 [0.809388]	2.547702 [0.769295]	5.592074 [0.347955]	7.224599 [0.204465]	6.720727 [0.242252]	59.64115 [0.000117]
Lag 3	9.975478 [0.075933]	6.110713 [0.295595]	7.833783 [0.165637]	15.85142 [0.007281]	13.48129 [0.019263]	43.33886 [0.012845]
df	5	5	5	5	5	25

Planteamiento de hipótesis:

H₀: Los coeficientes de los retardos son en conjunto no significativamente diferentes de cero

H₁: Los coeficientes de los retardos son en conjunto significativamente diferentes de cero

Regla de decisión:

Rechazar H₀ si el P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H₀ si el P-value es mayor que 0,05

Resultados:

Se rechaza la hipótesis nula para las tres primeras filas de retardos, es decir, que si hay contribución significativa individual y conjunta en el VAR en los tres primeros retardos.

Test de longitud del Retardo

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: Y K L E_t CO2_t

Exogenous variables: C

Sample: 1970 2012

Included observations: 37

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	180.4635	NA	5.23e-11	-9.484514	-9.266822	-9.407767
1	400.8877	369.3595	1.37e-15	-20.04798	-18.74183*	-19.58751
2	439.4421	54.18450*	7.13e-16	-20.78065	-18.38604	-19.93644*
3	468.6855	33.19527	7.00e-16*	-21.01003	-17.52696	-19.78208
4	498.9330	26.16000	8.35e-16	-21.29368*	-16.72215	-19.68200

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Se toma como referencia el criterio de información de Schwars para decidir la elección de la longitud optima del retardo.

Test de Portmanteau autocorrelation

VAR Residual Portmanteau Tests for Autocorrelations
Null Hypothesis: no residual autocorrelations up to lag h
Sample: 1970 2012
Included observations: 38

Lags	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
1	12.63785	NA*	12.97941	NA*	NA*
2	27.43457	NA*	28.59818	NA*	NA*
3	49.42730	NA*	52.47600	NA*	NA*
4	82.33409	0.0000	89.25417	0.0000	25
5	106.0869	0.0000	116.6059	0.0000	50
6	123.5628	0.0004	137.3586	0.0000	75

*The test is valid only for lags larger than the VAR lag order.
df is degrees of freedom for (approximate) chi-square distribution

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo h

H_1 : Existe autocorrelación hasta el retardo h

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado:

La prueba es válida solamente para retardos superiores al orden del retardo del VAR.

Test de Multiplicador de Lagrange (LM)

VAR Residual Serial Correlation LM Tests
Null Hypothesis: no serial correlation at lag order h
Sample: 1970 2012
Included observations: 38

Lags	LM-Stat	Prob
1	24.94306	0.4656
2	32.12056	0.1546
3	21.93473	0.6395
4	32.24900	0.1509
5	24.21047	0.5072
6	20.35610	0.7279
7	32.16580	0.1533
8	31.18041	0.1831
9	39.87493	0.0300
10	25.05373	0.4594
11	25.11601	0.4559
12	19.80986	0.7567

Probs from chi-square with 25 df.

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo de orden h

H_1 : Existe autocorrelación hasta el retardo de orden h

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

Todos los P-valor son mayores a 0.05 salvo en el retardo nueve, puesto que mayoritariamente los retardo son mayores al 5%, la prueba indica la ausencia de autocorrelación en los residuos.

Test de Normalidad de Jarque-Bera (J-B)

VAR Residual Normality Tests
Orthogonalization: Cholesky (Lutkepohl)
Null Hypothesis: residuals are multivariate normal
Sample: 1970 2012
Included observations: 38

Component	Skewness	Chi-sq	df	Prob.
1	0.213659	0.289118	1	0.5908
2	-0.322196	0.657464	1	0.4175
3	-0.876686	4.867661	1	0.0274
4	0.133521	0.112910	1	0.7369
5	-0.220176	0.307024	1	0.5795
Joint		6.234177	5	0.2841

Component	Kurtosis	Chi-sq	df	Prob.
1	2.456187	0.468243	1	0.4938
2	3.008143	0.000105	1	0.9918
3	4.172105	2.175230	1	0.1402
4	2.276651	0.828453	1	0.3627
5	2.608386	0.242823	1	0.6222
Joint		3.714854	5	0.5912

Component	Jarque-Bera	df	Prob.
1	0.757361	2	0.6848
2	0.657569	2	0.7198
3	7.042891	2	0.0296
4	0.941364	2	0.6246
5	0.549847	2	0.7596
Joint	9.949031	10	0.4450

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Los residuos son normales. $J-B = 0$

H_1 : Los residuos no son normales. $J-B \neq 0$

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

La última fila del Test indica que los residuos son normales, puesto que el P-value 0.4450 es mayor que 0.05

Test de Heteroscedasticidad de White (sin términos cruzados)

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: No Cross Terms (only levels and squares)

Sample: 1970 2012

Included observations: 38

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
453.4298	450	0.4458

Individual components:

Dependent	R-squared	F(30,7)	Prob.	Chi-sq(30)	Prob.
res1*res1	0.573416	0.313648	0.9879	21.78982	0.8616
res2*res2	0.975062	9.123304	0.0028	37.05237	0.1756
res3*res3	0.750935	0.703505	0.7665	28.53554	0.5421
res4*res4	0.953129	4.744919	0.0197	36.21892	0.2010
res5*res5	0.894288	1.973919	0.1779	33.98294	0.2815
res2*res1	0.971950	8.085072	0.0040	36.93409	0.1791
res3*res1	0.911099	2.391302	0.1167	34.62175	0.2567
res3*res2	0.867334	1.525475	0.2930	32.95871	0.3243
res4*res1	0.929278	3.065971	0.0640	35.31256	0.2314
res4*res2	0.979910	11.38083	0.0014	37.23656	0.1703
res4*res3	0.727382	0.622565	0.8281	27.64052	0.5895
res5*res1	0.846975	1.291468	0.3866	32.18503	0.3590
res5*res2	0.967279	6.897711	0.0065	36.75661	0.1843
res5*res3	0.912280	2.426637	0.1129	34.66663	0.2550
res5*res4	0.940115	3.663035	0.0403	35.72438	0.2172

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Los residuos son homocedásticos

H_1 : Los residuos no son homocedásticos

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

El primer recuadro presenta los resultados de la prueba. La probabilidad conjunta (Joint test), indica que se acepta la hipótesis nula, es decir, que los residuos son homocedásticos, puesto que el P-value 0.4458 es mayor que 0.05

Especificación de la tendencia determinística

Sample: 1970 2012
Included observations: 39
Series: Y K L E_t CO_{2t}
Lags interval: 1 to 1

Selected (0.05 level*) Number of Cointegrating Relations by Model

Data Trend:	None	None	Linear	Linear	Quadratic
Test Type	No Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept Trend	Intercept Trend
Trace	2	3	2	2	3
Max-Eig	1	2	2	1	1

*Critical values based on MacKinnon-Haug-Michelis (1999)

Resultado:

Los estadísticos de Traza y máximo valor propio indican que existen dos vectores de cointegración asumiendo que existe tendencia determinística en los datos (sólo intercepto en la ecuación de cointegración -CE- y no tendencia en el VAR), columna cuatro.

Test de Cointegración de Johansen

Sample (adjusted): 1972 2010

Included observations: 39 after adjustments

Trend assumption: Linear deterministic trend

Series: Y K L E_t CO_{2t}

Lags interval (in first differences): 1 to 1

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.741868	102.5147	69.81889	0.0000
At most 1 *	0.538697	49.69762	47.85613	0.0332
At most 2	0.303117	19.52328	29.79707	0.4558
At most 3	0.127844	5.438918	15.49471	0.7606
At most 4	0.002669	0.104245	3.841466	0.7468

Trace test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.741868	52.81704	33.87687	0.0001
At most 1 *	0.538697	30.17433	27.58434	0.0227
At most 2	0.303117	14.08436	21.13162	0.3581
At most 3	0.127844	5.334673	14.26460	0.6991
At most 4	0.002669	0.104245	3.841466	0.7468

Max-eigenvalue test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

La prueba de traza y máximo valor propio indican que existen dos relaciones (o vectores) de cointegración.

VECM para las series Y K L E_t CO_{2t}

Vector Error Correction Estimates

Sample (adjusted): 1972 2010

Included observations: 39 after adjustments

Standard errors in () & t-statistics in []

Cointegrating Eq:	CointEq1	CointEq2			
Y(-1)	1.000000	0.000000			
K(-1)	0.000000	1.000000			
L(-1)	-0.829041 (0.05329) [-15.5561]	-1.129674 (0.23419) [-4.82368]			
E _t (-1)	0.308228 (0.14542) [2.11952]	0.179199 (0.63905) [0.28041]			
CO _{2t} (-1)	-1.217741 (0.16054) [-7.58542]	-1.576726 (0.70546) [-2.23502]			
C	-11.40650	1.393384			
Error Correction:	D(Y)	D(K)	D(L)	D(E _t)	D(CO _{2t})
CointEq1	0.033934 (0.14724) [0.23047]	1.203519 (0.83206) [1.44643]	0.059300 (0.09876) [0.60045]	-0.023655 (0.21547) [-0.10978]	1.047691 (0.23592) [4.44093]
CointEq2	-0.000110 (0.03424) [-0.00321]	-0.586781 (0.19347) [-3.03292]	-0.000357 (0.02296) [-0.01553]	0.072709 (0.05010) [1.45128]	-0.078835 (0.05486) [-1.43715]
D(Y(-1))	0.228839 (0.28889) [0.79213]	0.022278 (1.63250) [0.01365]	-0.126718 (0.19377) [-0.65397]	0.315158 (0.42274) [0.74551]	-0.791821 (0.46287) [-1.71069]
D(K(-1))	0.000444 (0.03998) [0.01112]	0.255603 (0.22595) [1.13124]	0.035930 (0.02682) [1.33976]	-0.025205 (0.05851) [-0.43078]	-0.048935 (0.06406) [-0.76386]
D(L(-1))	-0.204641 (0.26935) [-0.75975]	-0.591222 (1.52211) [-0.38842]	0.485091 (0.18066) [2.68505]	-0.358054 (0.39416) [-0.90841]	-0.153768 (0.43157) [-0.35630]

D(E (-1))	0.059835 (0.14159) [0.42261]	1.219093 (0.80010) [1.52368]	-0.037254 (0.09497) [-0.39229]	-0.350019 (0.20719) [-1.68938]	0.358444 (0.22685) [1.58007]
D(CO ₂ _t (-1))	-0.041586 (0.10774) [-0.38598]	-0.471874 (0.60884) [-0.77503]	-0.042748 (0.07227) [-0.59154]	0.094911 (0.15766) [0.60199]	0.313455 (0.17263) [1.81580]
C	0.034075 (0.01400) [2.43401]	0.028036 (0.07911) [0.35439]	0.018932 (0.00939) [2.01621]	0.037307 (0.02049) [1.82108]	0.042921 (0.02243) [1.91350]
R-squared	0.148295	0.273753	0.321607	0.234526	0.577271
Adj. R-squared	-0.044025	0.109762	0.168422	0.061676	0.481816
Sum sq. resids	0.016492	0.526661	0.007420	0.035316	0.042338
S.E. equation	0.023065	0.130342	0.015471	0.033753	0.036956
F-statistic	0.771085	1.669317	2.099464	1.356823	6.047577
Log likelihood	96.14546	28.60423	111.7216	81.29736	77.76101
Akaike AIC	-4.520280	-1.056627	-5.319056	-3.758839	-3.577488
Schwarz SC	-4.179037	-0.715384	-4.977813	-3.417596	-3.236244
Mean dependent	0.038275	0.051145	0.026775	0.030567	0.023449
S.D. dependent	0.022574	0.138144	0.016965	0.034844	0.051339
Determinant resid covariance (dof adj.)		1.85E-16			
Determinant resid covariance		5.87E-17			
Log likelihood		452.1029			
Akaike information criterion		-20.62066			
Schwarz criterion		-18.48789			

ANEXO 4. Sistema VAR, pruebas de diagnóstico y VEC para modelo 2.

Sistema VAR para las series Y K L E_t

Vector Autoregression Estimates

Sample (adjusted): 1973 2012

Included observations: 40 after adjustments

Standard errors in () & t-statistics in []

	Y	K	L	E _t
Y(-1)	1.171477 (0.25324) [4.62600]	1.386776 (1.51938) [0.91272]	-0.021836 (0.16290) [-0.13405]	0.571549 (0.35175) [1.62489]
Y(-2)	-0.391723 (0.35784) [-1.09470]	0.196227 (2.14696) [0.09140]	0.379540 (0.23019) [1.64883]	-0.658605 (0.49703) [-1.32507]
Y(-3)	0.220633 (0.24814) [0.88914]	0.718473 (1.48881) [0.48258]	-0.229862 (0.15962) [-1.44002]	0.651508 (0.34467) [1.89024]
K(-1)	-0.068581 (0.04834) [-1.41859]	0.260589 (0.29006) [0.89840]	0.053749 (0.03110) [1.72833]	-0.062496 (0.06715) [-0.93069]
K(-2)	0.033779 (0.04729) [0.71422]	0.024505 (0.28376) [0.08636]	-0.048910 (0.03042) [-1.60763]	0.066736 (0.06569) [1.01588]
K(-3)	-0.034100 (0.03583) [-0.95166]	-0.349966 (0.21498) [-1.62787]	0.020320 (0.02305) [0.88159]	-0.065990 (0.04977) [-1.32589]
L(-1)	0.045596 (0.27986) [0.16292]	-0.652487 (1.67913) [-0.38859]	1.220613 (0.18003) [6.78009]	-0.541351 (0.38873) [-1.39262]
L(-2)	-0.239506 (0.45463) [-0.52682]	1.041025 (2.72769) [0.38165]	-0.008052 (0.29245) [-0.02753]	0.672146 (0.63148) [1.06440]
L(-3)	0.298737 (0.28159) [1.06089]	-0.804218 (1.68950) [-0.47601]	-0.349475 (0.18114) [-1.92930]	-0.396197 (0.39113) [-1.01295]
E _t (-1)	0.293172 (0.16994) [1.72514]	1.384190 (1.01962) [1.35756]	-0.241280 (0.10932) [-2.20711]	0.762189 (0.23605) [3.22895]
E _t (-2)	0.018720 (0.15898) [0.11775]	-1.127388 (0.95387) [-1.18190]	-0.021283 (0.10227) [-0.20811]	0.221073 (0.22083) [1.00111]

$E_t(-3)$	-0.284129 (0.15137) [-1.87704]	-0.859076 (0.90820) [-0.94591]	0.181670 (0.09737) [1.86570]	-0.361037 (0.21025) [-1.71714]
C	-0.016495 (1.62303) [-0.01016]	-25.80112 (9.73792) [-2.64955]	-1.384631 (1.04406) [-1.32620]	-5.956275 (2.25439) [-2.64208]
R-squared	0.998142	0.968396	0.998804	0.993874
Adj. R-squared	0.997316	0.954350	0.998272	0.991151
Sum sq. resids	0.012365	0.445113	0.005117	0.023856
S.E. equation	0.021400	0.128397	0.013766	0.029725
F-statistic	1208.524	68.94458	1878.974	365.0427
Log likelihood	104.8779	33.20859	122.5250	91.73451
Akaike AIC	-4.593895	-1.010430	-5.476250	-3.936725
Schwarz SC	-4.045009	-0.461544	-4.927364	-3.387840
Mean dependent	33.06590	31.28446	16.41261	16.90821
S.D. dependent	0.413051	0.600945	0.331201	0.315995
Determinant resid covariance (dof adj.)	2.95E-13			
Determinant resid covariance	6.13E-14			
Log likelihood	381.4265			
Akaike information criterion	-16.47132			
Schwarz criterion	-14.27578			

Nota: Y es el logaritmo natural del PIB real en pesos constantes de 2005; K es el logaritmo natural de la formación bruta de capital fijo en pesos constantes de 2005; L es el logaritmo natural de la fuerza laboral y E_t es el logaritmo natural del consumo de energía primaria en tep.

Tabla de raíces autorregresivas

Roots of Characteristic Polynomial

Endogenous variables: Y K L E_t

Exogenous variables: C

Lag specification: 1 3

Root	Modulus
1.001553	1.001553
0.879201 - 0.188681i	0.899219
0.879201 + 0.188681i	0.899219
0.551915 - 0.525600i	0.762145
0.551915 + 0.525600i	0.762145
0.511876 - 0.533083i	0.739050
0.511876 + 0.533083i	0.739050
-0.581984	0.581984
-0.474770 - 0.334632i	0.580848
-0.474770 + 0.334632i	0.580848
0.420656	0.420656
-0.361801	0.361801

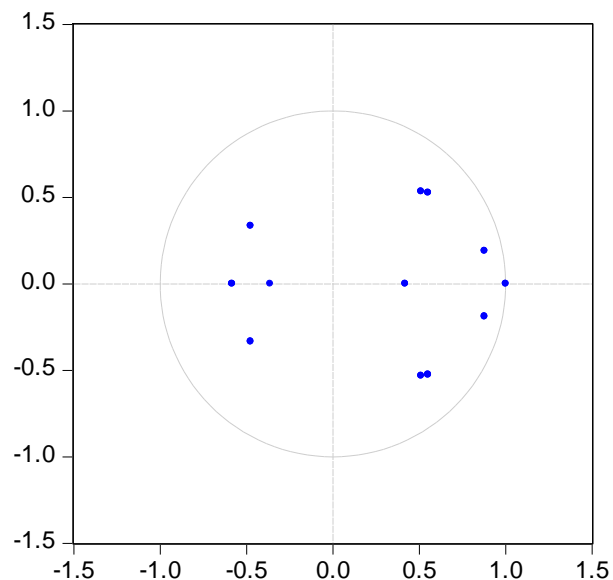
Warning: At least one root outside the unit circle.

VAR does not satisfy the stability condition.

Nota. El sistema es marginalmente estable

Raíz inversa del polinomio autorregresivo

Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



Tanto la tabla como la gráfica de los valores propios *eigenvalues* indican que existe de una tendencia común, puesto que, sólo un eigenvalue se encuentra próximo al borde del círculo unidad. Esto sugiere la existencia de un único vector de cointegración.

Test de Causalidad de Granger y Test de Exogeneidad de Wald

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Dependent variable: Y

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
K	2.509887	3	0.4735
L	2.386793	3	0.4961
E_t	4.466175	3	0.2153
All	9.767789	9	0.3696

Dependent variable: K

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	7.092283	3	0.0690
L	0.796580	3	0.8503
E_t	5.098375	3	0.1647
All	17.06294	9	0.0477

Dependent variable: L

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	5.499135	3	0.1387
K	3.725809	3	0.2926
E_t	6.258143	3	0.0997
All	15.28226	9	0.0835

Dependent variable: E_t

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	9.687136	3	0.0214
K	2.075333	3	0.5569
L	6.335497	3	0.0964
All	13.29263	9	0.1498

Test de exclusión de Retardos

VAR Lag Exclusion Wald Tests

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Chi-squared test statistics for lag exclusion:

Numbers in [] are p-values

	Y	K	L	E _t	Joint
Lag 1	46.81860 [1.66e-09]	18.21488 [0.001120]	63.10887 [6.44e-13]	33.73782 [8.43e-07]	129.3081 [0.000000]
Lag 2	1.269835 [0.866472]	1.623076 [0.804639]	3.786215 [0.435711]	5.546473 [0.235675]	21.87034 [0.147427]
Lag 3	6.008067 [0.198547]	4.019448 [0.403380]	8.356666 [0.079353]	7.300192 [0.120850]	25.85571 [0.056093]
df	4	4	4	4	16

Planteamiento de hipótesis:

H₀: Los coeficientes de los retardos son en conjunto no significativamente diferentes de cero

H₁: Los coeficientes de los retardos son en conjunto significativamente diferentes de cero

Regla de decisión:

Rechazar H₀ si el P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H₀ si el P-value es mayor que 0,05

Resultados:

Se rechaza la hipótesis nula para la primera fila de retardos, es decir, que si hay contribución significativa individual y conjunta en el VAR en el primer retardo. Para los retardo dos y tres no se rechaza la hipótesis nula, por lo que se excluyen.

Test de longitud del Retardo

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: Y K L E_t

Exogenous variables: C

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	115.8760	NA	4.37e-08	-5.593800	-5.424912	-5.532735
1	348.4640	407.0291*	8.71e-13	-16.42320	-15.57876*	-16.11788*
2	365.1334	25.83748	8.64e-13*	-16.45667	-14.93668	-15.90709
3	381.4265	21.99569	9.10e-13	-16.47132*	-14.27578	-15.67749

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Se toma como referencia el criterio de información de Schwars para decidir la elección de la longitud optima del retardo.

Test de Portmanteau autocorrelation

VAR Residual Portmanteau Tests for Autocorrelations
Null Hypothesis: no residual autocorrelations up to lag h
Sample: 1970 2012
Included observations: 40

Lags	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
1	3.510809	NA*	3.600829	NA*	NA*
2	14.03638	NA*	14.68038	NA*	NA*
3	25.55627	NA*	27.13432	NA*	NA*
4	50.89795	0.0000	55.29174	0.0000	16
5	70.27847	0.0001	77.44091	0.0000	32
6	75.50269	0.0068	83.58704	0.0011	48

*The test is valid only for lags larger than the VAR lag order.
df is degrees of freedom for (approximate) chi-square distribution

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo h

H_1 : Existe autocorrelación hasta el retardo h

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado:

La prueba es válida solamente para retardos superiores al orden del retardo del VAR.

Test de Multiplicador de Lagrange (LM)

VAR Residual Serial Correlation LM Tests

Null Hypothesis: no serial correlation at lag order h

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Lags	LM-Stat	Prob
1	11.93219	0.7486
2	26.12201	0.0523
3	12.67461	0.6964
4	24.75818	0.0742
5	18.73612	0.2826
6	5.311861	0.9940
7	20.23594	0.2098
8	16.27336	0.4341
9	24.87195	0.0721
10	12.97986	0.6742
11	7.429403	0.9641
12	19.92139	0.2238

Probs from chi-square with 16 df.

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo de orden h

H_1 : Existe autocorrelación hasta el retardo de orden h

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

Todos los P-valor son mayores a 0.05, por lo que la prueba indica la ausencia de autocorrelación en los residuos.

Test de Normalidad de Jarque-Bera (J-B)

VAR Residual Normality Tests
Orthogonalization: Cholesky (Lutkepohl)
Null Hypothesis: residuals are multivariate normal
Sample: 1970 2012
Included observations: 40

Component	Skewness	Chi-sq	df	Prob.
1	-0.396765	1.049484	1	0.3056
2	-0.546440	1.990647	1	0.1583
3	-1.392138	12.92032	1	0.0003
4	-0.140121	0.130892	1	0.7175
Joint		16.09135	4	0.0029

Component	Kurtosis	Chi-sq	df	Prob.
1	3.816364	1.110750	1	0.2919
2	3.424447	0.300258	1	0.5837
3	5.388965	9.511924	1	0.0020
4	2.404646	0.590745	1	0.4421
Joint		11.51368	4	0.0214

Component	Jarque-Bera	df	Prob.
1	2.160234	2	0.3396
2	2.290905	2	0.3181
3	22.43225	2	0.0000
4	0.721637	2	0.6971
Joint	27.60502	8	0.0006

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Los residuos son normales. $J-B = 0$

H_1 : Los residuos no son normales. $J-B \neq 0$

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

La última fila del Test indica que los residuos no son normales, puesto que el P-value 0.0006 es menor que 0.05.

Test de Heteroscedasticidad de White (sin términos cruzados)

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: No Cross Terms (only levels and squares)

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
218.1912	240	0.8405

Individual components:

Dependent	R-squared	F(24,15)	Prob.	Chi-sq(24)	Prob.
res1*res1	0.520265	0.677803	0.8080	20.81060	0.6499
res2*res2	0.473248	0.561517	0.8995	18.92992	0.7557
res3*res3	0.289533	0.254703	0.9986	11.58132	0.9842
res4*res4	0.553400	0.774463	0.7199	22.13600	0.5711
res2*res1	0.521045	0.679924	0.8062	20.84180	0.6480
res3*res1	0.416625	0.446351	0.9622	16.66499	0.8626
res3*res2	0.561201	0.799342	0.6966	22.44804	0.5525
res4*res1	0.568701	0.824112	0.6733	22.74806	0.5347
res4*res2	0.485411	0.589561	0.8796	19.41643	0.7294
res4*res3	0.629016	1.059709	0.4655	25.16064	0.3971

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Los residuos son homocedásticos

H_1 : Los residuos no son homocedásticos

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

El primer recuadro presenta los resultados de la prueba. La probabilidad conjunta (Joint test), indica que se acepta la hipótesis nula, es decir, que los residuos son homocedásticos, puesto que el P-value 0.8405 es mayor que 0.05

Especificación de la tendencia determinística

Sample: 1970 2012
Included observations: 41
Series: Y K L E_t
Lags interval: 1 to 1

Selected (0.05 level*) Number of Cointegrating Relations by Model

Data Trend:	None	None	Linear	Linear	Quadratic
Test Type	No Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept Trend	Intercept Trend
Trace	1	2	1	1	1
Max-Eig	1	1	1	1	1

*Critical values based on MacKinnon-Haug-Michelis (1999)

Resultado:

Los estadísticos de Traza y máximo valor propio indican que existe un vector de cointegración asumiendo tanto tendencia lineal como cuadrática en los datos. Se optó por seleccionar la forma de tendencia lineal y e intercepto en EC, columna tres.

Test de Cointegración de Johansen

Sample (adjusted): 1972 2012
 Included observations: 41 after adjustments
 Trend assumption: Linear deterministic trend
 Series: Y K L E_t
 Lags interval (in first differences): 1 to 1
 Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.574420	53.87516	47.85613	0.0122
At most 1	0.284337	18.84873	29.79707	0.5038
At most 2	0.117611	5.132360	15.49471	0.7946
At most 3	5.77E-05	0.002366	3.841466	0.9591

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.574420	35.02643	27.58434	0.0046
At most 1	0.284337	13.71637	21.13162	0.3888
At most 2	0.117611	5.129994	14.26460	0.7253
At most 3	5.77E-05	0.002366	3.841466	0.9591

Max-eigenvalue test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

1 Cointegrating Equation(s):	Log likelihood	364.7788
------------------------------	----------------	----------

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

Y	K	L	E_t
1.000000	-0.990963	0.211191	0.431379
	(0.13644)	(0.15905)	(0.20236)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(Y)	-0.001621
	(0.03107)
D(K)	0.516222
	(0.18007)
D(L)	-0.008089
	(0.02086)
D(E_t)	-0.081491
	(0.04581)

La prueba de traza y máximo valor propio indican que existe una relación (o vector) de cointegración.

VECM para las series Y K L E_t

Vector Error Correction Estimates

Sample (adjusted): 1972 2012

Included observations: 41 after adjustments

Standard errors in () & t-statistics in []

Cointegrating Eq:	CointEq1			
Y(-1)	1.000000			
K(-1)	-0.990963 (0.13644) [-7.26274]			
L(-1)	0.211191 (0.15905) [1.32779]			
E _t (-1)	0.431379 (0.20236) [2.13170]			
C	-12.81707			
Error Correction:	D(Y)	D(K)	D(L)	D(E _t)
CointEq1	-0.001621 (0.03107) [-0.05218]	0.516222 (0.18007) [2.86681]	-0.008089 (0.02086) [-0.38777]	-0.081491 (0.04581) [-1.77877]
D(Y(-1))	0.244395 (0.23429) [1.04315]	0.306096 (1.35776) [0.22544]	-0.089532 (0.15729) [-0.56921]	0.386193 (0.34544) [1.11796]
D(K(-1))	-0.011724 (0.03307) [-0.35453]	0.112898 (0.19164) [0.58911]	0.021218 (0.02220) [0.95572]	-0.035470 (0.04876) [-0.72747]
D(L(-1))	-0.220404 (0.24396) [-0.90344]	-0.919026 (1.41384) [-0.65002]	0.453100 (0.16379) [2.76639]	-0.416562 (0.35971) [-1.15804]
D(E _t (-1))	0.042726 (0.12623) [0.33847]	0.861984 (0.73156) [1.17828]	-0.074627 (0.08475) [-0.88057]	-0.298999 (0.18613) [-1.60644]
C	0.034481 (0.01339) [2.57559]	0.033473 (0.07758) [0.43144]	0.019088 (0.00899) [2.12370]	0.038287 (0.01974) [1.93962]

R-squared	0.132129	0.211565	0.290327	0.217738
Adj. R-squared	0.008148	0.098931	0.188945	0.105986
Sum sq. resids	0.017358	0.582982	0.007824	0.037737
S.E. equation	0.022270	0.129061	0.014951	0.032836
F-statistic	1.065719	1.878347	2.863692	1.948405
Log likelihood	101.0527	29.01354	117.3887	85.13273
Akaike AIC	-4.636715	-1.122612	-5.433595	-3.860133
Schwarz SC	-4.385949	-0.871845	-5.182829	-3.609366
Mean dependent	0.038932	0.053809	0.026445	0.031282
S.D. dependent	0.022361	0.135961	0.016602	0.034728
Determinant resid covariance (dof adj.)	4.14E-13			
Determinant resid covariance	2.20E-13			
Log likelihood	364.7788			
Akaike information criterion	-16.42823			
Schwarz criterion	-15.25799			

ANEXO 5. Sistema VAR, pruebas de diagnóstico y VEC para modelo 3.

Sistema VAR para las series Y E_t $CO2_t$

Vector Autoregression Estimates
Sample (adjusted): 1973 2010
Included observations: 38 after adjustments
Standard errors in () & t-statistics in []

	Y	E_t	$CO2_t$
$Y(-1)$	1.151675 (0.20967) [5.49274]	0.457262 (0.27507) [1.66234]	-0.234261 (0.48264) [-0.48538]
$Y(-2)$	-0.298555 (0.32081) [-0.93063]	-0.349571 (0.42087) [-0.83059]	1.101567 (0.73846) [1.49171]
$Y(-3)$	0.191714 (0.24115) [0.79499]	0.074431 (0.31637) [0.23526]	-0.746839 (0.55510) [-1.34541]
$E_t(-1)$	0.251453 (0.18281) [1.37550]	0.717201 (0.23983) [2.99048]	0.253187 (0.42080) [0.60168]
$A1250(-2)$	-0.008936 (0.16589) [-0.05387]	0.303521 (0.21763) [1.39463]	-0.268441 (0.38186) [-0.70298]
$E_t(-3)$	-0.229321 (0.16072) [-1.42681]	-0.469163 (0.21085) [-2.22507]	-0.044196 (0.36996) [-0.11946]
$CO2_t(-1)$	-0.178994 (0.10619) [-1.68562]	-0.008615 (0.13931) [-0.06184]	0.674556 (0.24443) [2.75968]
$CO2_t(-2)$	0.067504 (0.11804) [0.57190]	-0.006966 (0.15485) [-0.04499]	-0.090353 (0.27170) [-0.33255]
$CO2_t(-3)$	0.000876 (0.10108) [0.00866]	0.309100 (0.13261) [2.33092]	0.236042 (0.23267) [1.01448]
C	-0.472267 (0.68381) [-0.69064]	-1.620948 (0.89710) [-1.80688]	-1.015991 (1.57404) [-0.64547]
R-squared	0.997593	0.993099	0.952672
Adj. R-squared	0.996819	0.990881	0.937459
Sum sq. resids	0.013533	0.023293	0.071708
S.E. equation	0.021985	0.028842	0.050606
F-statistic	1289.220	447.7109	62.62407

Log likelihood	96.94373	86.62731	65.26236
Akaike AIC	-4.575986	-4.033016	-2.908545
Schwarz SC	-4.145042	-3.602072	-2.477601
Mean dependent	33.02906	16.88208	10.87886
S.D. dependent	0.389791	0.302031	0.202360
<hr/>			
Determinant resid covariance (dof adj.)	3.32E-10		
Determinant resid covariance	1.33E-10		
Log likelihood	270.3582		
Akaike information criterion	-12.65043		
Schwarz criterion	-11.35760		

Nota: Y es el logaritmo natural del PIB real en pesos constantes de 2005; E_t es el logaritmo natural del consumo de energía primaria en tep; y $CO2_t$ es el logaritmo natural de las emisiones de dióxido de carbono en kilo toneladas.

Tabla de raíces autorregresivas

Roots of Characteristic Polynomial

Endogenous variables: Y E_t $CO2_t$

Exogenous variables: C

Lag specification: 1 3

Root	Modulus
1.006334	1.006334
0.815015 - 0.161624i	0.830886
0.815015 + 0.161624i	0.830886
-0.706620	0.706620
0.558906 - 0.429436i	0.704834
0.558906 + 0.429436i	0.704834
-0.052180 - 0.622498i	0.624681
-0.052180 + 0.622498i	0.624681
-0.399762	0.399762

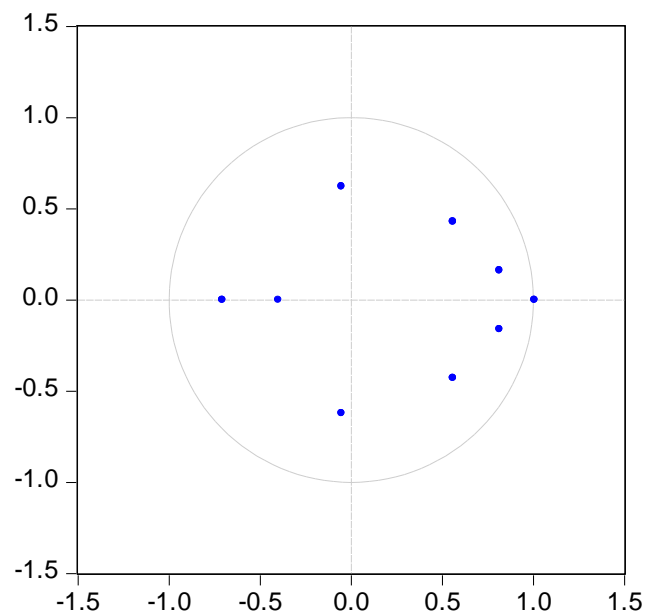
Warning: At least one root outside the unit circle.

VAR does not satisfy the stability condition.

Nota. El sistema es marginalmente estable

Raíz inversa del polinomio autorregresivo

Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



Tanto la tabla como la gráfica de los valores propios *eigenvalues* indican que existe de una tendencia común, puesto que, sólo un eigenvalue se encuentra próximo al borde del círculo unidad. Esto sugiere la existencia de un único vector de cointegración.

Test de Causalidad de Granger y Test de Exogeneidad de Wald

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Sample: 1970 2012

Included observations: 38

Dependent variable: Y

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
E_t	2.741771	3	0.4332
$CO2_t$	2.943750	3	0.4004
All	4.813844	6	0.5679

Dependent variable: E_t

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	9.000399	3	0.0293
$CO2_t$	7.017875	3	0.0713
All	11.79291	6	0.0668

Dependent variable: $CO2_t$

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	3.674198	3	0.2989
E_t	0.712579	3	0.8702
All	7.463461	6	0.2801

Test de exclusión de Retardos

VAR Lag Exclusion Wald Tests

Sample: 1970 2012

Included observations: 38

Chi-squared test statistics for lag exclusion:

Numbers in [] are p-values

	Y	E _t	CO2 _t	Joint
Lag 1	46.41771 [4.62e-10]	30.46729 [1.10e-06]	16.96538 [0.000718]	94.51778 [2.22e-16]
Lag 2	0.941922 [0.815301]	2.345688 [0.503825]	2.424323 [0.489123]	18.65939 [0.028250]
Lag 3	2.240837 [0.523950]	8.091179 [0.044164]	2.755770 [0.430833]	19.41511 [0.021886]
df	3	3	3	9

Planteamiento de hipótesis:

H₀: Los coeficientes de los retardos son en conjunto no significativamente diferentes de cero

H₁: Los coeficientes de los retardos son en conjunto significativamente diferentes de cero

Regla de decisión:

Rechazar H₀ si el P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H₀ si el P-value es mayor que 0,05

Resultados:

Se rechaza la hipótesis nula para las tres primeras filas de retardos, es decir, que si hay contribución significativa individual y conjunta en el VAR en los tres primeros retardos.

Test de longitud del Retardo

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: Y E_t CO_{2t}

Exogenous variables: C

Sample: 1970 2012

Included observations: 38

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	94.90937	NA	1.59e-06	-4.837335	-4.708052	-4.791337
1	251.8887	280.9104*	6.61e-10*	-12.62572	-12.10859*	-12.44173*
2	259.2260	11.97143	7.29e-10	-12.53821	-11.63323	-12.21623
3	270.3582	16.40531	6.68e-10	-12.65043*	-11.35760	-12.19045

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Se toma como referencia el criterio de información de Schwars para decidir la elección de la longitud optima del retardo.

Test de Portmanteau autocorrelation

VAR Residual Portmanteau Tests for Autocorrelations
Null Hypothesis: no residual autocorrelations up to lag h
Sample: 1970 2012
Included observations: 38

Lags	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
1	3.080461	NA*	3.163717	NA*	NA*
2	6.051304	NA*	6.299606	NA*	NA*
3	13.06434	NA*	13.91376	NA*	NA*
4	23.60314	0.0050	25.69242	0.0023	9
5	37.35994	0.0047	41.53359	0.0013	18
6	48.61246	0.0066	54.89594	0.0012	27

*The test is valid only for lags larger than the VAR lag order.
df is degrees of freedom for (approximate) chi-square distribution

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo h

H_1 : Existe autocorrelación hasta el retardo h

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado:

La prueba es válida solamente para retardos superiores al orden del retardo del VAR.

Test de Multiplicador de Lagrange (LM)

VAR Residual Serial Correlation LM Tests

Null Hypothesis: no serial correlation at lag order h

Sample: 1970 2012

Included observations: 38

Lags	LM-Stat	Prob
1	10.65029	0.3004
2	14.61384	0.1021
3	8.135355	0.5206
4	11.83822	0.2226
5	15.67949	0.0739
6	18.27313	0.0321
7	10.13534	0.3396
8	3.528419	0.9396
9	18.73077	0.0276
10	8.990788	0.4381
11	5.307055	0.8068
12	6.774128	0.6606

Probs from chi-square with 9 df.

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo de orden h

H_1 : Existe autocorrelación hasta el retardo de orden h

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

Todos los P-valor son mayores a 0.05 salvo en los retardos seis y nueve; puesto que mayoritariamente los retardos son mayores al 5%, la prueba indica la ausencia de autocorrelación en los residuos.

Test de Normalidad de Jarque-Bera (J-B)

VAR Residual Normality Tests
Orthogonalization: Cholesky (Lutkepohl)
Null Hypothesis: residuals are multivariate normal
Sample: 1970 2012
Included observations: 38

Component	Skewness	Chi-sq	df	Prob.
1	-0.330354	0.691179	1	0.4058
2	-0.107178	0.072751	1	0.7874
3	0.335713	0.713787	1	0.3982
Joint		1.477718	3	0.6874

Component	Kurtosis	Chi-sq	df	Prob.
1	3.454083	0.326470	1	0.5677
2	2.274977	0.832292	1	0.3616
3	4.952150	6.033908	1	0.0140
Joint		7.192670	3	0.0660

Component	Jarque-Bera	df	Prob.
1	1.017649	2	0.6012
2	0.905043	2	0.6360
3	6.747695	2	0.0343
Joint	8.670387	6	0.1930

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Los residuos son normales. $J-B = 0$

H_1 : Los residuos no son normales. $J-B \neq 0$

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

La última fila del Test indica que los residuos son normales, puesto que el P-value 0.1930 es mayor que 0.05.

Test de Heteroscedasticidad de White (sin términos cruzados)

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: No Cross Terms (only levels and squares)

Sample: 1970 2012

Included observations: 38

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
101.6603	108	0.6534

Individual components:

Dependent	R-squared	F(18,19)	Prob.	Chi-sq(18)	Prob.
res1*res1	0.548885	1.284324	0.2964	20.85762	0.2867
res2*res2	0.584646	1.485782	0.1997	22.21653	0.2225
res3*res3	0.491936	1.022048	0.4799	18.69357	0.4109
res2*res1	0.539610	1.237189	0.3243	20.50520	0.3051
res3*res1	0.528110	1.181311	0.3603	20.06817	0.3290
res3*res2	0.451113	0.867528	0.6167	17.14229	0.5133

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Los residuos son homocedásticos

H_1 : Los residuos no son homocedásticos

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

El primer recuadro presenta los resultados de la prueba. La probabilidad conjunta (Joint test), indica que se acepta la hipótesis nula, es decir, que los residuos son homocedásticos, puesto que el P-value 0.6534 es mayor que 0.05

Especificación de la tendencia determinística

Sample: 1970 2012
Included observations: 39
Series: Y E_t $CO2_t$
Lags interval: 1 to 1

Selected (0.05 level*) Number of Cointegrating Relations by Model

Data Trend:	None	None	Linear	Linear	Quadratic
Test Type	No Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept Trend	Intercept Trend
Trace	2	1	0	1	1
Max-Eig	2	0	0	1	1

*Critical values based on MacKinnon-Haug-Michelis (1999)

Resultado:

Los estadísticos de Traza y máximo valor propio indican que existe al menos un vector de cointegración. Se seleccionó la opción con tendencia determinística en los datos (sólo intercepto en la ecuación de cointegración -CE- y tendencia en el VAR), columna cinco.

Test de Cointegración de Johansen

Sample (adjusted): 1972 2010

Included observations: 39 after adjustments

Trend assumption: Linear deterministic trend (restricted)

Series: Y E_t CO_{2t}

Lags interval (in first differences): 1 to 1

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.501279	47.70998	42.91525	0.0154
At most 1	0.284218	20.57733	25.87211	0.1981
At most 2	0.175719	7.536516	12.51798	0.2919

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.501279	27.13265	25.82321	0.0334
At most 1	0.284218	13.04081	19.38704	0.3248
At most 2	0.175719	7.536516	12.51798	0.2919

Max-eigenvalue test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

1 Cointegrating Equation(s):	Log likelihood	266.5685
------------------------------	----------------	----------

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

Y	E_t	CO _{2t}	@TREND(71)
1.000000	0.348809 (0.13541)	-0.792551 (0.13072)	-0.030834 (0.00180)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(Y)	-0.214067 (0.13799)
D(E_t)	-0.142629 (0.21693)
D(CO _{2t})	0.790512 (0.31077)

La prueba de traza y máximo valor propio indican que existen dos relaciones (o vectores) de cointegración.

VECM para las series Y E_t $CO2_t$

Vector Error Correction Estimates
Sample (adjusted): 1972 2010
Included observations: 39 after adjustments
Standard errors in () & t-statistics in []

Cointegrating Eq:	CointEq1		
$Y(-1)$	1.000000		
$E_t(-1)$	0.348809 (0.13541) [2.57601]		
$CO2_t(-1)$	-0.792551 (0.13072) [-6.06294]		
@TREND(70)	-0.030834 (0.00180) [-17.1731]		
C	-29.60294		
Error Correction:	D(Y)	D(E_t)	D($CO2_t$)
CointEq1	-0.214067 (0.13799) [-1.55130]	-0.142629 (0.21693) [-0.65749]	0.790512 (0.31077) [2.54369]
D(Y(-1))	0.477564 (0.20587) [2.31973]	0.714848 (0.32364) [2.20881]	-0.310935 (0.46364) [-0.67064]
D($E_t(-1)$)	0.088290 (0.12690) [0.69575]	-0.245579 (0.19949) [-1.23103]	0.175762 (0.28579) [0.61500]
D($CO2_t(-1)$)	-0.137152 (0.09901) [-1.38530]	-0.006684 (0.15564) [-0.04295]	0.103282 (0.22297) [0.46321]
C	0.020385 (0.00755) [2.70115]	0.010234 (0.01186) [0.86259]	0.027915 (0.01700) [1.64240]
R-squared	0.180509	0.149996	0.196391
Adj. R-squared	0.084098	0.049996	0.101848
Sum sq. resids	0.015869	0.039216	0.080486
S.E. equation	0.021604	0.033962	0.048654
F-statistic	1.872287	1.499954	2.077278
Log likelihood	96.89730	79.25484	65.23456

Akaike AIC	-4.712682	-3.807940	-3.088952
Schwarz SC	-4.499405	-3.594663	-2.875675
Mean dependent	0.038275	0.030567	0.023449
S.D. dependent	0.022574	0.034844	0.051339
<hr/>			
Determinant resid covariance (dof adj.)		3.50E-10	
Determinant resid covariance		2.32E-10	
Log likelihood		266.5685	
Akaike information criterion		-12.69582	
Schwarz criterion		-11.88537	
<hr/>			

ANEXO 6. Sistema VAR, pruebas de diagnóstico y VEC para modelo 4.

Sistema VAR para las series Y y E_t

Vector Autoregression Estimates

Sample (adjusted): 1973 2012

Included observations: 40 after adjustments

Standard errors in () & t-statistics in []

	Y	E_t
Y(-1)	1.144253 (0.19199) [5.95986]	0.306332 (0.27072) [1.13154]
Y(-2)	-0.190977 (0.28127) [-0.67898]	-0.522465 (0.39661) [-1.31733]
Y(-3)	0.106623 (0.19834) [0.53757]	0.325489 (0.27968) [1.16381]
$E_t(-1)$	0.061357 (0.12910) [0.47525]	0.834314 (0.18204) [4.58303]
$E_t(-2)$	0.001025 (0.14872) [0.00689]	0.409004 (0.20970) [1.95039]
$E_t(-3)$	-0.143258 (0.12395) [-1.15581]	-0.399756 (0.17477) [-2.28733]
C	-0.583127 (0.53352) [-1.09297]	-0.948528 (0.75230) [-1.26084]
R-squared	0.997696	0.992174
Adj. R-squared	0.997277	0.990751
Sum sq. resids	0.015328	0.030477
S.E. equation	0.021552	0.030390
F-statistic	2381.958	697.2778
Log likelihood	100.5809	86.83579
Akaike AIC	-4.679046	-3.991789
Schwarz SC	-4.383492	-3.696235
Mean dependent	33.06590	16.90821
S.D. dependent	0.413051	0.315995

Determinant resid covariance (dof adj.)	3.48E-07
Determinant resid covariance	2.37E-07
Log likelihood	191.5789
Akaike information criterion	-8.878943
Schwarz criterion	-8.287835

Nota: Y es el logaritmo natural del PIB real en pesos constantes de 2005 y E_t es el logaritmo natural del consumo de energía primaria en tep.

Roots of Characteristic Polynomial

Endogenous variables: $Y E_t$

Exogenous variables: C

Lag specification: 1 3

Root	Modulus
1.006123	1.006123
0.853135	0.853135
-0.614765	0.614765
0.545531	0.545531
0.245274	0.245274
-0.056731	0.056731

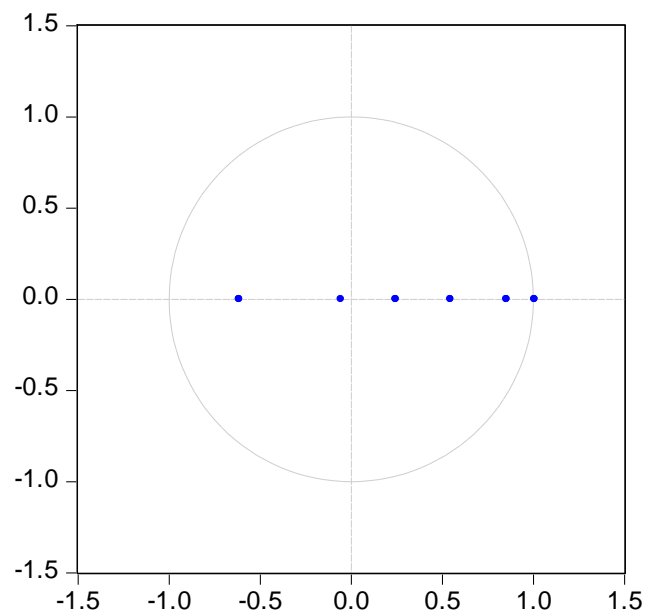
Warning: At least one root outside the unit circle.

VAR does not satisfy the stability condition.

Nota. El sistema es marginalmente estable

Raíz inversa del polinomio autorregresivo

Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



Tanto la tabla como la gráfica de los valores propios *eigenvalues* indican que existe de una tendencia común, puesto que, sólo un eigenvalue se encuentra próximo al borde del círculo unidad. Esto sugiere la existencia de un único vector de cointegración.

Test de Causalidad de Granger y Test de Exogeneidad de Wald

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Dependent variable: Y

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
E_t	3.250166	3	0.3546
All	3.250166	3	0.3546

Dependent variable: E_t

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
Y	5.547959	3	0.1358
All	5.547959	3	0.1358

Test de exclusión de Retardos

VAR Lag Exclusion Wald Tests

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Chi-squared test statistics for lag exclusion:

Numbers in [] are p-values

	Y	E_t	Joint
Lag 1	50.23440 [1.24e-11]	35.63488 [1.83e-08]	74.53581 [2.44e-15]
Lag 2	0.518004 [0.771822]	4.286131 [0.117295]	5.367782 [0.251598]
Lag 3	1.340790 [0.511507]	5.232332 [0.073083]	5.270115 [0.260688]
df	2	2	4

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Los coeficientes de los retardos son en conjunto no significativamente diferentes de cero

H_1 : Los coeficientes de los retardos son en conjunto significativamente diferentes de cero

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si el P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si el P-value es mayor que 0,05

Resultados:

Se rechaza la hipótesis nula para la primera fila de retardos, es decir, que si hay contribución significativa individual y conjunta en el VAR en el primer retardo.

Test de longitud del Retardo

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: Y E_t

Exogenous variables: C

Date: 12/30/15 Time: 22:26

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	30.33574	NA	0.000831	-1.416787	-1.332343	-1.386254
1	186.1606	288.2761*	4.20e-07*	-9.008032*	-8.754700*	-8.916435*
2	188.6153	4.295608	4.55e-07	-8.930763	-8.508543	-8.778102
3	191.5789	4.889923	4.81e-07	-8.878943	-8.287835	-8.665217

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Se toma como referencia el criterio de información de Schwars para decidir la elección de la longitud optima del retardo.

Test de Portmanteau autocorrelation

VAR Residual Portmanteau Tests for Autocorrelations
Null Hypothesis: no residual autocorrelations up to lag h
Sample: 1970 2012
Included observations: 40

Lags	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
1	0.245791	NA*	0.252093	NA*	NA*
2	1.304509	NA*	1.366534	NA*	NA*
3	3.037137	NA*	3.239645	NA*	NA*
4	4.784555	0.3101	5.181220	0.2692	4
5	11.97381	0.1524	13.39751	0.0989	8
6	12.54793	0.4027	14.07294	0.2961	12
7	18.05216	0.3209	20.74474	0.1885	16
8	18.35084	0.5643	21.11809	0.3902	20
9	21.07844	0.6341	24.63757	0.4257	24
10	24.02229	0.6804	28.56271	0.4349	28
11	24.96687	0.8074	29.86557	0.5750	32
12	31.78623	0.6693	39.60752	0.3122	36

*The test is valid only for lags larger than the VAR lag order.
df is degrees of freedom for (approximate) chi-square distribution

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo h

H_1 : Existe autocorrelación hasta el retardo h

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado:

La prueba es válida solamente para retardos superiores al orden del retardo del VAR. Los P-value indican que los residuos son ruido blanco.

Test de Multiplicador de Lagrange (LM)

VAR Residual Serial Correlation LM Tests
Null Hypothesis: no serial correlation at lag order h
Sample: 1970 2012
Included observations: 40

Lags	LM-Stat	Prob
1	3.478592	0.4811
2	4.092553	0.3936
3	1.614103	0.8063
4	1.776373	0.7768
5	7.278773	0.1219
6	0.736576	0.9467
7	7.119645	0.1297
8	0.359621	0.9856
9	3.212080	0.5230
10	2.764794	0.5979
11	1.023922	0.9061
12	7.197436	0.1258

Probs from chi-square with 4 df.

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo de orden h

H_1 : Existe autocorrelación hasta el retardo de orden h

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

Todos los P-valor son mayores a 0.05, lo cual indica la ausencia de autocorrelación en los residuos.

Test de Normalidad de Jarque-Bera (J-B)

VAR Residual Normality Tests
Orthogonalization: Cholesky (Lutkepohl)
Null Hypothesis: residuals are multivariate normal
Sample: 1970 2012
Included observations: 40

Component	Skewness	Chi-sq	df	Prob.
1	-0.618717	2.552069	1	0.1101
2	0.326240	0.709549	1	0.3996
Joint		3.261618	2	0.1958

Component	Kurtosis	Chi-sq	df	Prob.
1	4.115719	2.074715	1	0.1498
2	2.840031	0.042650	1	0.8364
Joint		2.117365	2	0.3469

Component	Jarque-Bera	df	Prob.
1	4.626784	2	0.0989
2	0.752200	2	0.6865
Joint	5.378984	4	0.2506

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Los residuos son normales. $J-B = 0$

H_1 : Los residuos no son normales. $J-B \neq 0$

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

La última fila del Test indica que los residuos son normales, puesto que el P-value 0.2506 es mayor que 0.05

Test de Heteroscedasticidad de White (sin y con términos cruzados)

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: No Cross Terms (only levels and squares)

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Joint test:		
Chi-sq	df	Prob.
28.79242	36	0.7978

Individual components:					
Dependent	R-squared	F(12,27)	Prob.	Chi-sq(12)	Prob.
res1*res1	0.300130	0.964882	0.5033	12.00519	0.4453
res2*res2	0.198614	0.557637	0.8560	7.944573	0.7894
res2*res1	0.242352	0.719716	0.7201	9.694076	0.6428

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: Includes Cross Terms

Sample: 1970 2012

Included observations: 40

Joint test:		
Chi-sq	df	Prob.
68.42127	63	0.2985

Individual components:					
Dependent	R-squared	F(21,18)	Prob.	Chi-sq(21)	Prob.
res1*res1	0.544455	1.024433	0.4838	21.77819	0.4124
res2*res2	0.589473	1.230768	0.3307	23.57894	0.3139
res2*res1	0.409409	0.594188	0.8737	16.37636	0.7481

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Los residuos son homocedásticos

H_1 : Los residuos no son homocedásticos

Regla de decisión:

Rechazar H_0 si P-value es menor o igual a 0,05

No rechazar H_0 si P-value es mayor que 0,05

Resultado

La prueba de White con y sin términos cruzados indica que se acepta la hipótesis nula, es decir, que los residuos son homocedásticos, puesto que en ambos casos el P-value es mayor que 0.05

Especificación de la tendencia determinística

Sample: 1970 2012
Included observations: 41
Series: $Y E_t$
Lags interval: 1 to 1

Selected (0.05 level*) Number of Cointegrating Relations by Model

Data Trend:	None	None	Linear	Linear	Quadratic
Test Type	No Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept Trend	Intercept Trend
Trace	1	1	0	0	2
Max-Eig	1	1	0	0	0

*Critical values based on MacKinnon-Haug-Michelis (1999)

Resultado:

Los estadísticos de Traza y máximo valor propio indican que existen dos vectores de cointegración asumiendo que existe tendencia determinística en los datos (sólo intercepto en la ecuación de cointegración -CE- y no tendencia en el VAR), columna cuatro.

Test de Cointegración de Johansen

Sample (adjusted): 1972 2012

Included observations: 41 after adjustments

Trend assumption: No deterministic trend (restricted constant)

Series: Y E_t

Lags interval (in first differences): 1 to 1

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.336144	20.88445	20.26184	0.0410
At most 1	0.094879	4.087146	9.164546	0.3993

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.336144	16.79731	15.89210	0.0360
At most 1	0.094879	4.087146	9.164546	0.3993

Max-eigenvalue test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

1 Cointegrating Equation(s):	Log likelihood	191.4320
------------------------------	----------------	----------

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

Y	E_t	C
1.000000	-1.480985 (0.17837)	-7.498176 (3.03423)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(Y)	0.055911 (0.01277)
D(E_t)	0.044314 (0.01969)

La prueba de traza y máximo valor propio indican que existen dos relaciones (o vectores) de cointegración.

VECM para las series Y y E_t

Vector Error Correction Estimates
Sample (adjusted): 1972 2012
Included observations: 41 after adjustments
Standard errors in () & t-statistics in []

Cointegrating Eq:	CointEq1	
$Y(-1)$	1.000000	
$E_t(-1)$	-1.480985 (0.17837) [-8.30305]	
C	-7.498176 (3.03423) [-2.47120]	
Error Correction:	D(Y)	D(E_t)
CointEq1	0.055911 (0.01277) [4.37899]	0.044314 (0.01969) [2.25080]
$D(Y(-1))$	0.172160 (0.18442) [0.93352]	0.390996 (0.28437) [1.37495]
$D E_t(-1))$	0.062923 (0.11098) [0.56699]	-0.205744 (0.17113) [-1.20230]
R-squared	0.176646	0.188339
Adj. R-squared	0.133311	0.145620
Sum sq. resids	0.016468	0.039155
S.E. equation	0.020817	0.032100
F-statistic	4.076336	4.408797
Log likelihood	102.1321	84.37644
Akaike AIC	-4.835713	-3.969582
Schwarz SC	-4.710329	-3.844199
Mean dependent	0.038932	0.031282
S.D. dependent	0.022361	0.034728
Determinant resid covariance (dof adj.)	3.51E-07	
Determinant resid covariance	3.02E-07	
Log likelihood	191.4320	
Akaike information criterion	-8.899120	
Schwarz criterion	-8.522970	

ANEXO 7. Estructura de modelos para curva de Hubbert de petróleo y carbón a través de dinámica de sistemas.

STELLA 10.0.6 (Trial)

File Edit View Equation Run Help

Interface

Map

Model

Equation

```

Población(t) = Población(t - dt) + (Nacimientos - Muertes) * dt
INIT Población = 40295563
INFLOWS:
  Nacimientos = Tasa_de_natalidad*Población
OUTFLOWS:
  Muertes = Tasa_de_mortalidad*Población
Producción_de_Carbón(t) = Producción_de_Carbón(t - dt) + (Curva_de_Hubbert_para_Carbón) * dt
INIT Producción_de_Carbón = 486.1343
INFLOWS:
  Curva_de_Hubbert_para_Carbón =
    a*Producción_de_Carbón*(Límite_de_reservas_de_carbón-Producción_de_Carbón)
Producción_de_petróleo(t) = Producción_de_petróleo(t - dt) + (Curva_de_Hubbert_para_Petróleo) *
dt
INIT Producción_de_petróleo = 5317.19072009695
INFLOWS:
  Curva_de_Hubbert_para_Petróleo =
    k*Producción_de_petróleo*(Límite_de_reservas_de_petróleo-Producción_de_petróleo)
UNATTACHED:
  Producción_base_para_cálculo_de_regalías_de_carbón = IF Curva_de_Hubbert_para_Carbón
< 3 THEN Curva_de_Hubbert_para_Carbón*0.05 ELSE Curva_de_Hubbert_para_Carbón*0.10
UNATTACHED:
  Producción_base_para_cálculo_de_regalías_de_petróleo = IF
Curva_de_Hubbert_para_Petróleo < 125 THEN Curva_de_Hubbert_para_Petróleo*0.08 ELSE
Curva_de_Hubbert_para_Petróleo*0.2
a = 4.932048e-06
Efecto_hacinamiento_sobre_la_tasa_de_mortalidad = GRAPH(Población/Población_normal)
(0.00, 0.476), (0.2, 0.448), (0.4, 0.503), (0.6, 0.587), (0.8, 0.727), (1.00, 1.01), (1.20, 1.37), (1.40, 1.83),
(1.60, 2.50), (1.80, 3.15), (2.00, 4.00)
k = 8.50977e-06
Límite_de_reservas_de_carbón = 16436
Límite_de_reservas_de_petróleo = 10860
Población_normal = 64799070
Producción_de_carbón_percápita = (Curva_de_Hubbert_para_Carbón*1000000)/Población
Producción_de_petróleo_percápita = (Curva_de_Hubbert_para_Petróleo*1000000)/Población
Regalías_por_carbón = Producción_base_para_cálculo_de_regalías_de_carbón*110*1800
Regalías_por_carbón_percápita = Regalías_por_carbón/Población
Regalías_por_petróleo =
(Producción_base_para_cálculo_de_regalías_de_petróleo*1000000)*98.42814364*2200
Regalías_por_petróleo_percápita = Regalías_por_petróleo/Población
Tasa_de_mortalidad =
Efecto_hacinamiento_sobre_la_tasa_de_mortalidad*Tasa_normal_de_mortalidad
Tasa_de_natalidad = 0.01868
Tasa_normal_de_mortalidad = 0.015
  
```

ANEXO 8. Muestra de Países para modelo de datos de panel.

1	Albania	ALB
2	Alemania	DEU
3	Angola	AGO
4	Arabia Saudita	SAU
5	Argelia	DZA
6	Argentina	ARG
7	Australia	AUS
8	Azerbaiyán	AZE
9	Belarús	BLR
10	Bolivia	BOL
11	Brasil	BRA
12	Brunei Darussalam	BRN
13	Bélgica	BEL
14	Camerún	CMR
15	Canadá	CAN
16	Chile	CHL
17	China	CHN
18	Colombia	COL
19	República Democrática del Congo	ZAR
20	República del Congo	COG
21	Croacia	HRV
22	Dinamarca	DNK
23	Ecuador	ECU
24	República Árabe de Egipto	EGY
25	Emiratos Árabes Unidos	ARE
26	España	ESP
27	Estados Unidos	USA
28	Federación de Rusia	RUS
29	Filipinas	PHL
30	Francia	FRA
31	Gabón	GAB
32	Grecia	GRC
33	Guatemala	GTM
34	Hungría	HUN
35	India	IND
36	Indonesia	IDN
37	Iraq	IRQ
38	República Islámica del Irán	IRN
39	Italia	ITA
40	Japón	JPN
41	Kazajstán	KAZ
42	Kuwait	KWT
43	Libia	LBY
44	Malasia	MYS
45	México	MEX
46	Nigeria	NGA
47	Noruega	NOR
48	Nueva Zelanda	NZL
49	Omán	OMN
50	Pakistán	PAK
51	Países Bajos	NLD
52	Perú	PER
53	Qatar	QAT
54	Reino Unido	GBR
55	República Checa	CZE
56	República Árabe Siria	SYR
57	Rumania	ROM
58	Sudáfrica	ZAF
59	Sudán	SDN
60	Tailandia	THA
61	Trinidad y Tobago	TTO
62	Turquía	TUR
63	Túnez	TUN
64	Ucrania	UKR
65	Uzbekistán	UZB
66	Venezuela	VEN
67	Viet Nam	VNM
68	República de Yemen	YEM

ANEXO 9. Resultados de las regresiones por variables instrumentales en GMM para la estimación individual de la variable de abundancia de recursos

variable dependiente: Tasa de crecimiento PIB constante us\$2005						
Variables Instrumentales - GMM						
Regresores / modelo	1	2	3	4	5	6
Nivel inicial de PIB constante 2005	-0.000023† (0.0000152)	-0.000081* (0.0000478)	-0.0001754*** (0.0000164)	-0.0002112*** (0.0000241)	-0.0002485*** (0.0000255)	-0.0002402*** (0.0000218)
<u>Abundancia de recursos</u>						
Producción de Petróleo per cápita	-0.0086021** (0.0039821)	-0.0023359‡ (0.004305)	-0.0068164*** (0.001458)	-0.0092193*** (0.0033326)	-0.0097448*** (0.0037297)	-0.010187*** (0.0040453)
Producción de Gas Natural en Pies Cúbicos per cápita	-3.54e-07‡ (4.77e-06)	7.55e-08‡ (0.5.68e-06)	-4.20e-06† (3.04e-06)	-2.74e-06‡ (0.3.59e-06)	5.27e-06*** (1.94e-06)	6.29e-06*** (0.2.47e-06)
Producción de Carbón per cápita	0.0476594*** (0.0148318)	0.140205*** (0.040501)	0.047316*** (0.0115994)	0.051157*** (0.011157)	0.0873983*** (0.0127115)	0.0988435*** (0.0138322)
<u>Otros controles</u>						
Inflación		0.0026284*** (0.0008544)	-0.0000247‡ (0.0004365)	0.0000486‡ (0.0003946)	0.0019974*** (0.0004703)	0.0012159‡ (0.0013299)
Inversión			2.74e-12*** (2.31e-13)	3.19e-12*** (2.00e-13)	2.96e-12*** (0.4.63e-13)	2.96e-12*** (4.90e-13)
Gasto Público				0.1953714‡ (0.155215)	0.1546411‡ (0.2071135)	0.1505436‡ (0.2050764)
Regalías petróleo y carbón per cápita					0.000148† (0.0001063)	0.0001524† (0.0000979)
Población						-3.68e-09‡ (4.50e-09)
<u>Controles Institucionales</u>						
Calidad Regulatoria						-0.0668649*** (0.0369238)
Efectividad Gubernamental						
Estado de Derecho						
Constante	0.0901036*** (0.0287033)	0.1076769** (0.0579495)	0.5211607*** (0.0302853)	0.5707954*** (0.0319123)	0.6066154*** (0.0442114)	0.723478*** (0.1775185)
Observaciones	22	22	22	22	19	19
R ²	0.4012	0.5023	0.8040	0.8163	0.8948	0.8941
Wald p-valor	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nota. Elaborado por el Autor. Errores estándar en paréntesis. *, ** y *** indican niveles de significancia estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente. † representa significancia al 15%. ‡ indica no significancia.

Regresores / modelo	1	2	3	4	5	6
<u>prueba de endogeneidad</u>						
GMM C	0.2162	0.6227	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
<u>prueba de instrumentos débiles</u>						
R ²	0.9984	0.9988	0.9993	0.9993	0.9998	0.9998
R ² ajustado	0.9979	0.9984	0.9990	0.9989	0.9996	0.9996
R ² parcial	0.9726	0.9710	0.9731	0.9421	0.9855	0.9822
R ² parcial ajustado	0.9661	0.9620	0.9624	0.9132	0.9739	0.9643
HAC F (1, 19)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Valor propio mínimo	283.771	251.526	253.303	105.776	305.714	220.339
<u>prueba de sobreidentificación de instrumentos</u>						
Hansen's J	0.7603	0.2686	0.2188	0.2269	0.3899	0.3914

Nota. Elaborado por el Autor. Se considera el nivel inicial del PIB como regresor endógeno y se instrumentaliza con su primer rezago. Todos los estadísticos de las pruebas de endogeneidad y el estadístico HAC F de la prueba de instrumentos débiles corresponden a los p-valor. El p-valor para las pruebas de endogeneidad y la prueba HAC F; indican que la variable: valor inicial del PIB, debe ser manejada como una variable endógena y el p-valor de la prueba HAC F indica que el instrumento no es débil, esto se corrobora con el estadístico del valor propio mínimo (significativo al 5 y 10%, 5%). La prueba sobreidentificación de Hansen indica que no hay sobreidentificación de instrumentos.